Environnement Canada
Direction de la protection de l'environnement
Région du Québec

Environment Canada
Environmental Protection Branch
Québec Region

Canada

Use of Pine Needles for the Identification of Polychlorinated Dibenzo-*p*-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans Sources to Air in the Jonquière Area

André Germain
Environmental Protection Branch, Québec Region

Chung Chiu and Gary Poole
Environmental Technology Centre
Environment Canada

Montreal, Québec

2002

Acknowledgments

This project could not have been accomplished without the input of several partners, namely:

- the Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN);
- the Ministère de l'Environnement du Québec (MENV);
- the laboratory of the Ministère de l'Environnement du Québec;
- the Commission scolaire des rives du Saguenay;
- the City of Jonquière;
- the City of Chicoutimi;
- the Conseil régional de l'environnement Saguenay–Lac-Saint-Jean;
- Alcan Ltd.;
- Abitibi-Consolidated Ltd.
- SITQ Immobilier;
- Environment Canada's Toxics Pollution Prevention Directorate and Air Pollution Prevention Directorate
- the Environmental Technology Centre Laboratory, Environment Canada.

Without naming all participants, we wish to express special thanks to:

- Ms. Guertin, for the use of her property at Saint-Ignace-de-Loyola;
- Mr. Jean-Pierre Girard, of the MRNQ, who provided the pine trees;
- Mr. Stéphane Gagné, of the MENV, for the operation of the Chicoutimi station;
- Mr. Daniel Labrecque, of the MENV, for his comments on the content of the report and information on industries in the region;
- Mr. Lucien Simard, of Alcan Ltd., and Pierre Arseneault, of the City of Jonquière, for their help during the tree-planting process and for subsequent maintenance;
- Mr. Pierre Walsh, of the MENV, for the additional laboratory analysis and his comments on the report.

In addition, we wish to thank Anne-Marie Carter and Thérèse Drapeau, of Environment Canada, for their comments on the preliminary version of the report.

We wish to express our regrets in advance to the bodies or persons we may have forgotten to name. Our thanks go out to them as well.

Published by authority of the Minister of the Environment

© Public Works and Government Services Canada, 2001

Catalogue number: EN40-656/2002

ISBN: 0-662-66386-1

Executive Summary

In 1998. Environment Canada revealed the results of the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) analyses conducted between 1987 and 1997 in Canada. The report showed that the average levels of PAHs and the 90th percentile value of PCDDs and PCDFs measured in Jonquière were high. The high levels of PAHs were not surprising, since the station was located close to an aluminum plant using the horizontal stud Söderberg process, but the high levels of PCDDs and PCDFs were surprising and gave rise to much concern among the population regarding air pollution in the region. This led the Environmental Protection Branch, Québec Region, to conduct a study of the results. During a meeting with the interested parties in the region and representatives of the population, the Ministry indicated what the department planned to do to identify the source or sources of PCDDs and PCDFs. Given that a study of the available data led to the conclusion that the source or sources involved were local, Environment Canada implemented, in the summer of 2000, a project using pine needles as bioindicators to verify whether or not there were more PCDDs and PCDFs in the air in certain sectors of the City of Jonquière, and to see if it would be possible to link these to specific sources. Control stations were also set up in Montreal and in Saint-Ignace-de-Loyola, close to Sorel. In addition, the regular collection of air samples was pursued in Jonquière, while an additional station was added in Chicoutimi.

The results of the pine needles collected at the end of August at different locations in Québec show that the PCDD and PCDF levels were higher in the needles collected in Saint-Ignace-de-Loyola, close to Sorel, in Montreal, and at the control station located in a rural area close to Jonquière. In December, the levels rose in all stations, except in Montreal where they remained the same as in the month of August. They are slightly higher in the stations located in the southern part of Jonquière, including the one located in the rural area. The period of exposure of the needles to air pollution could be one of the causes of the increase in levels when compared to those measured in August, but an increase was not noted that would corroborate this theory at the control station influenced by motor vehicle traffic in Montreal. Residential wood heating is probably an important source of PCDD and PCDF emissions in the Jonquière region. Motor vehicle traffic is also a source of PCDDs and PCDFs, but at a lesser level than in Montreal. Among the other sources, let us mention open fire burning and certain industrial activities, namely the metal recyclers and reclaimers who burn wiring or electric motors to rid them of their plastic sheath or varnish. In Saint-Ignace-de-Loyola, the industries in the steel and iron works sector explain in large part the levels of PCDDs and PCDFs found in the Sorel region.

The results of the campaign conducted in the summer of 2000 show that the levels of PCDDs and PCDFs present in the pine needles collected in Jonquière are similar to those measured in urban areas in the United States, and about 5 times lower than those measured in the vicinity of certain wood preservation plants in the States. They are up to 40 times lower than in Korea or Japan, where large quantities of PCDDs and PCDFs are present in the air.

There were no significant differences in PCDD and PCDF levels measured in ambient air in Jonquière, Chicoutimi and Montreal, and levels were similar to those found elsewhere in Canada between 1997 and 1999. On the other hand, these were approximately 10 times lower than those measured close to a municipal waste incinerator and a power PVC-coated cable reclaimer in the

United States, 20 times lower than those measured in Japan, or 40 times lower than those measured in Saxe, Germany.

Since 1995-1996, the average levels of PCDDs and PCDFs present in the air dropped by approximately 50% in Jonquière and Montreal, and are 2 to 3 times lower than the MENV's revised annual guideline.

A study of the PCDD and PCDF levels measured in the pine needles and in ambient air shows that the pine needles are capable of absorbing PCDDs and PCDFs, and of serving as bioindicators. The ratio of the levels measured in the air and in the pine needles is relatively constant, regardless of the levels present in the air.

Among the sources of PCDDs and PCDFs, let us mention wood burning, motor vehicle traffic, burning waste in open fires (or *back yard burning*), and certain industrial facilities. Given that the level of PCDD and PCDF contamination in ambient air in Chicoutimi and Jonquière is similar to that in Montreal, that it is lower than the MENV's guideline, and that regular sampling activities are pursued in Jonquière, we recommend the measurement of emissions stemming from the activities of industries recycling and reclaiming metal by heating cables and electric motors. An awareness campaign on a better use of wood stoves and on the effects of back yard burning would also help to reduce the levels of PCDDs and PCDFs in the air.

As regards PAHs and benzo(a)pyrene or B(a)P, the levels were similar in Jonquière and Chicoutimi, while they were lower in Montreal. Between 1989-1990 and 2000-2001, we noted a 96% reduction in B(a)P and 85% in PAHs in Jonquière; in Montreal, the reductions noted were 27% and 60% respectively. In Jonquière, the most marked reduction was noted between 1999-2000 and 2000-2001, when Alcan modified the composition of the anodic paste used in its electrolytic cells. In Chicoutimi, the levels measured between July 2000 and the end of March 2001 were similar to those obtained in 1993-1994 by the MENV.

The PCDD and PCDF levels varied slightly according to wind direction, but less than the PAH levels which were higher when the stations were downwind from the aluminum plant. In fact, the highest PAH value was measured in Jonquière when the station was downwind from the aluminum plant for 18 of the 24-hour sampling day.

102-06706/

Introduction

In 1998. Environment Canada's Analysis and Air Quality Division made public a report on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and of polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) measured between 1987 and 1997 at the stations of Canada's National Air Pollution Surveillance Network (NAPS) (Dann, 1998). This report indicated that the levels of PAHs in the air in Jonquière were the highest among 35 measuring stations in operation between 1994 and 1997. As regards PCDDs and PCDFs, a station located in Toronto held the highest average value in the country, that is 0.105 pg TEQ/m^3 (picogram toxic equivalent factor per cubic metre). The station located in Jonquière showed the highest value for the period from 1994 to 1997 once the 90th percentile value[1] was applied.

The presence of high levels of PAHs in Jonquière has been known for a long time (Allaire *et al.*, 1993; Germain et Bisson, 1992), but the presence of PCDDs and PCDFs at the levels set out by Dann (1998) were surprising. The disclosure of these results gave rise to much concern among the population of the Jonquière region regarding air pollution in the area, and prompted the Environmental Protection Branch, Québec Region, to make a detailed study of the results. On February 2, 2000, a meeting took place in Jonquière and the 1998 report was presented to several regional players and various interested parties of the population. Environment Canada personnel took the opportunity to update the results (up to September 1999), which lessened the population's concern regarding the PCDD and PCDF levels measured in the area. Following this meeting, a study of the whole of the data available was conducted while taking weather conditions into account (Rousseau, 2000). We were able to note that the source or sources of PCDDs and PCDFs were local, and that the highest values were measured when winds blew from the south. A summary of the results was distributed in December, 2000, through the agency *Conseil régional de l'environnement Saguenay–Lac-Saint-Jean.*

Environment Canada developed a project that aimed to identify the source or sources of PCDDs and PCDFs. Given the scope of the region and the high cost of the analyses, it was decided to use bioindicators to verify whether or not there were any differences in PCDD and PCDF levels measured at several sites throughout the region. Documentation mentions that a number of bioindicators may serve to measure pollutants present in the air (Safe *et al.*, 1992; GDG Environnement, 1995; Fiedler *et al.*, 2000; Ok *et al.*, 2000; Viskari, 2000), and that these indicators afford the advantage of capturing the substances over relatively long periods of time. Among the bioindicators considered was peat moss, which we had already used in the Sorel region (Grenon et Lafortune, 1997), and pine needles (Myata *et al.*, 2000; Ok *et al.*, 2000). Safe *et al.* (1992) and Viskari (2000) report that the waxy section of the pine needles could serve as bioindicators of the deposition of pollutants, and be used to measure the lipophilic organic compounds in the air, namely PCBs, organochlorine pesticides such as DDT, or PCDDs and PCDFs. The collection of pine needles gathered among the year's shoots allows to determine and limit the period of exposure. A measuring program using Scots pine needles (*Pinus sylvestris*) as

[1] This value is obtained by classifying the values from the lowest to the highest, and by choosing the value that corresponds to the 90th largest value if the number of values is 100. If the number of values is not 100, the value retained is the value which represents the multiple of 90 in relation to 100 (example: the 9th value if there are 10 values, the 900th if there are 1000).

bioindicators was developed and implemented to identify the source or sources of PCDDs and PCDFs.

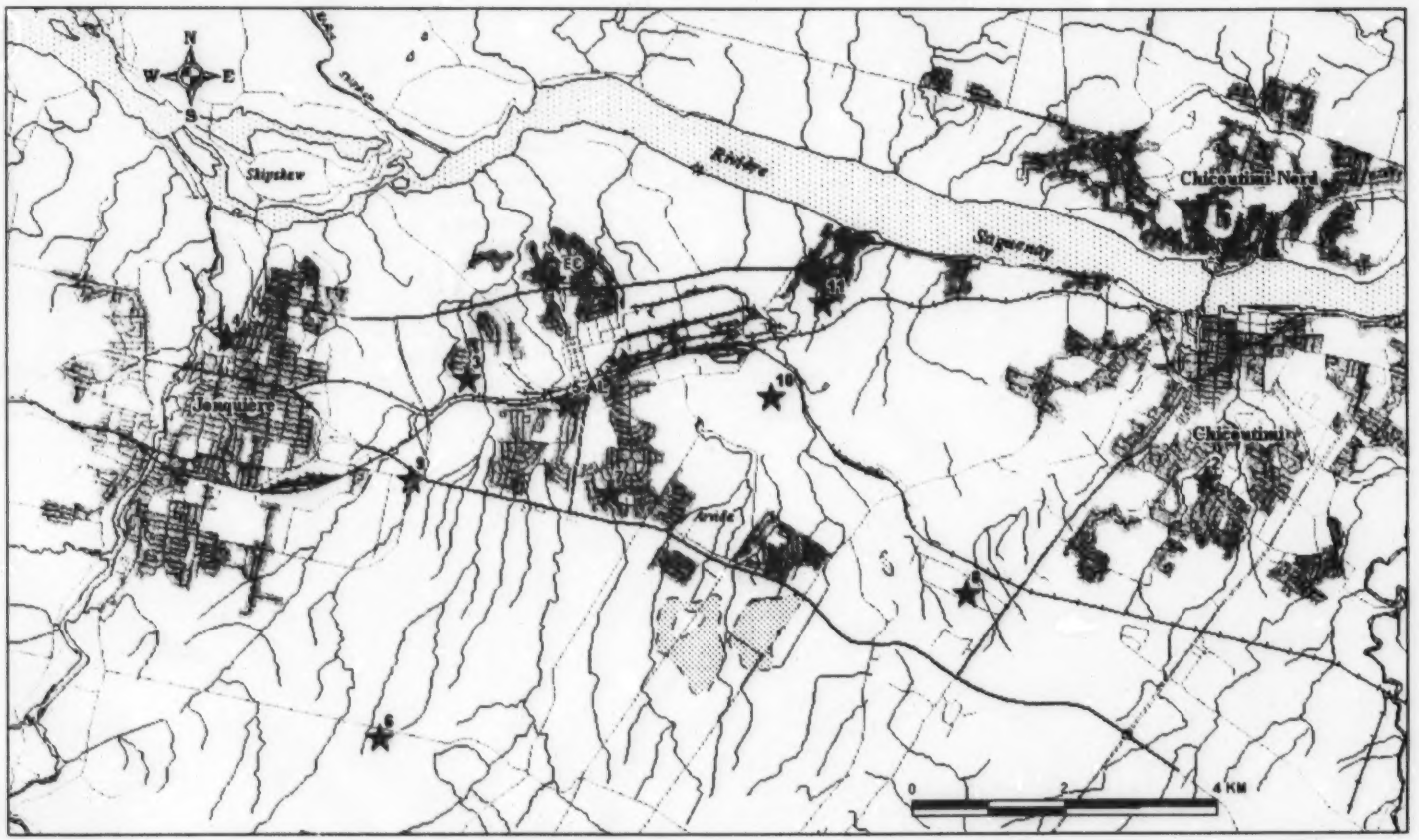
A "conventional" air sampling station using a device that pumps air through a system that captures the desired products over a determined period of time (generally 24 hours) was also set up in Chicoutimi to measure PAH, PCDD and PCDF levels in the ambient air and to compare these with levels measured in Jonquière. The Ministère de l'Environnement du Québec (MENV) increased the number of air samples by conducting PAHs, PCDDs and PCDFs analyses for a few samples in its laboratory.

Methodology

On July 11 and 12, 2000, Scots pines approximately 125 cm high were planted at 11 sites in the region to verify whether or not there were any differences between the levels of PCDDs and PCDFs (Figure 1). These sites were selected on the basis of prevailing wind direction and the region's urban and industrial activity. Pines were also planted at the station used by Environment Canada since 1989 for air quality follow-up activities (station EC or station 1), on the property of Dominique-Racine school in Chicoutimi (station 2), in the field located behind homes on Dubuisson Street (station 3), on the property of the Abitibi-Consolidated Ltd. pulp and paper plant (station 4), at station 5 of Alcan's air quality surveillance network (station 5), in an urban area at Poitras park (stations 7 and 14), in Chicoutimi's industrial park (station 8), next to Jonquière's industrial park (station 9), at the weather station located on Alcan's property (station 10), close to the Saint-Jean-Eudes neighbourhood (station 11), and lastly, in a rural area south of Jonquière to serve as a control station (station 6). Pines were also planted at two control stations located outside the region. These were located at Saint-Ignace-de-Loyola (station 12), downwind from Sorel's iron and steel works, and close to the Decarie and Metropolitain highways in Montreal (station 13).

In order to determine the levels of PCDDs and PCDFs initially present in the pine needles, we cut the ends of two or three branches of the year's shoots on each of the trees used. These branches were then grouped and kept in a refrigerator until their analysis in the laboratory. The grouping of the branches and their analysis as one sole sample was justified since the trees all came from the same site.

A first series of pine needles was gathered at the end of August (August 29 to 31, 2000) and a second at the beginning of December (December 4 and 5, 2000). These periods were retained to determine the levels corresponding to the summer, when there is no wood burning activities, and to the beginning of winter, when temperatures are low and people have begun to heat their homes. At each site, the ends of 10 to 20 branches of this year's shoots were cut and wrapped in aluminum foil previously cleaned at 550°C, and then placed in an airproof bag. The bags were then kept in an icebox at 4°C and sent to the laboratory where they were kept in a freezer until analysis. In the laboratory, the needles were separated from the branches and placed in a microwave extraction appliance. The extract was then purified before analysis by gas chromatography. The products were identified using a high-resolution mass spectrometer. This method of extraction was developed for the analysis of PCBs by Environment Canada's Environmental Technology Center (Environment Canada, 1997). It has been recognized by the



Environnement Canada Environment Canada

7-12-2001

Figure 1 Location of measurement stations in Jonquière and Chicoutimi

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) and serves as a reference method for biological material analysis. The moisture content of the needles was also determined in order to report results on a dry weight basis.

During the summer 2000 sampling campaign, a "conventional" air sample collection station was set up on the roof of Dominique-Racine school in Chicoutimi (station 2). Between August 2000 and the end of March 2001, nine air samples were taken every 28 days and analysed for PAHs, PCDDs and PCDFs by Environment Canada. In addition, three additional samples were taken and analysed at the MENV's laboratory. Paralleling these activities, air sample collection continued at Environment Canada's station in Jonquière (sampling dates provided in Annex 1). To verify the evolution of PAHs, PCDDs and PCDFs, we have grouped the results on the basis of the government's financial exercise, that is from April 1 to March 31.

The analysis of the air samples was conducted following the methods currently used by the laboratories; quality control included a field blank (or reference sample), the analysis of lab blanks to verify the purity of the solvents and the cleanliness of the materials, and the spiking of each sample with reference standards including radioisotopes to check the efficiency of the method in recovering the targeted products. The lab results provided were adjusted while taking into account the recovery of each of the reference standards.

In order to facilitate the interpretation of the results, we used the meteorological data provided by the Alcan station, a station located in Jonquière and certified by the Canadian Meteorological Service which has integrated this station into its observation network. The results of the weather station located at the Bagotville Airport, consulted as needed, filled the gap left by missing data. Thus, we determined the wind rose for the whole of the project and for each day of air sampling activity. The wind directions noted for the periods July-end of August and July-beginning of December (see Annex 2) correspond to those generally noted in the region.

Results

PCDDs and PCDFs found in the pine needles

We found only two dioxins and no furans in the pine needles collected before the trees were planted (field blank): 1,2,3,7,8-pentachlorodibenzodioxin (or 1,2,3,7,8-P5CDD) and octachlorodibenzodioxin (or T8CDD). Their total concentrations were 7.6 pg/g d.w. (dry weight) of PCDDs or 0.8 TEQ/g d.w. when expressed in terms of toxic equivalent (Table 1).

The PCDD and PCDF levels measured at the end of the summer were close to the limits of detection of various products, and the Chicoutmi-Jonquière area, station 6 (control station) showed the highest levels with 129 pg/g d.w. In general, the levels are lower in the region (overall average of 35.9 pg/g d.w.) than in Saint-Ignace-de-Loyola (91.7 pg/g d.w.) or Montreal (369 pg/g d.w.). Expressed in terms of toxic equivalent, the PCDD and PCDF levels are higher at the stations in Saint-Ignace-de-Loyola (0.79 pg TEQ/g. d.w.), Montreal (0.68 pg TEQ/g. d.w.), and at station 8 located in Chicoutimi's industrial park (0.77 pg TEQ/g. d.w.). Regional results showed a slight variation depending on the location of the stations, but since the PCDD and PCDF levels and related TEQs were close to detection limits, it would be hazardous to draw a conclusion.

Table 1 Total concentrations and toxic equivalent (TEQ) of PCDDs and PCDFs measured in the pine needles collected at the end of August (dry weight)

Station	PCDD	PCDF	Total PCDD + PCDF	FET	FET corrigé
	pg/g	pg/g	pg/g	pg FET/g	pg FET/g
Station EC (1)	14.0	3.1	17.0	0.28	0.07
Station 2	5.4	1.5	6.9	0.34	0.02
Station 3	3.6	1.2	4.8	0.07	< l.d.
Station 4	16.4	8.2	24.2	0.35	0.20
Station 5	8.8	3.2	12.0	0.13	0.04
Station 6	116.0	13 7	129.7	0.44	0.14
Station 7	14.1	4.0	18.1	0.32	0.07
Station 7 (duplicate)	11.4	6.0	17.4	0.09	< l.d.
Station 7 (average)	12.8	5.0	17.8	0.20	0.03
Station 8	81.9	15.3	97.2	0.77*	0.39*
Station 9	24.6	8.3	32.9	0.49	0.21
Station 10	11.1	3.8	14.9	0.2	0.05
Station 11	33.5	3.5	37.0	0.18	0.03
Average (region)	29.8	6.1	35.9	0.31	0.11
Station 12 (SIL)	71.7	19.9	91.7	0.79	0.52
Station 13 (Montreal)	348.5	20.7	369.2	0.68	0.11
Control station	7.6	0.0	7.6	0.8	

* : values adjusted for a moisture content of 57% : 0.48 pg/m^3 et 0.27 pg TEQ/m^3

It should be emphasized that at station 8, the moisture content of the needles was higher (79.8%) than at the other stations (approx. 57%); it is possible that an error occured during the weighing process and that the sample's dry weight is higher. If we were to suppose that this sample's percentage of water content is 57%, then the PCDD and PCDF levels would drop to 0.27 pg TEQ/g d.w. In winter, the water content of the pine needles at this station (58.3%) is similar to that of the other stations (57.7%). The higher water content value (85.8%) of the needles collected in the trees at the time of planting in July can be explained by the young age of the needles. The fact is that young shoots contain more water and are more tender than at the end of August or at the beginning of December when they have aged.

When the TEQ concentrations are adjusted to take into account the two products initially found in the needles, the highest value is found at Saint-Ignace-de-Loyola, followed by the stations located at the two industrial parks. The TEQ value at the Montreal station drops heavily since the majority of the total PCDDs/PCDFs stem from the T8CDD, which has an equivalence factor of 0.001, and the P5CDD, which has an equivalence factor of 0.5.

The PCDD and PCDF levels in the pine needles collected at the beginning of December were higher at all stations in the region (Table 2) than those measured in August. Station 9, located next to Jonquière's industrial park, showed the highest value (265 pg/g d.w.), followed by the control station (6) located in a rural area (205 pg/g d.w.). They also increased at Saint-Ignace-de-Loyola (129 pg/g d.w.), but diminished slightly in Montreal (52 pg/g d.w.). The average level noted in the region (105.4 pg/g d.w.) is lower than the average level measured in Saint-Ignace-de-Loyola, but higher than that registered in Montreal. Results show that the levels were slightly

higher in the south of the region. When the results are expressed in terms of toxic equivalent, the highest levels are found in the stations in or next to industrial parks, followed by those obtained at Environment Canada's historic station and at Saint-Ignace-de-Loyola. The station located in a rural area also shows high levels. The adjustment of the results to take into account the levels of PCDDs and PCDFs initially present in the pine needles leads to the same conclusions, that is, higher levels at the stations in or next to industrial parks, followed by the historic station and the station at Saint-Ignace-de-Loyola.

Table 2 Total concentrations and toxic equivalent (TEQ) of PCDDs and PCDFs measured in the pine needles collected at the beginning of December (dry weight)

Station	PCDDs	PCDFs	Total PCDDs/PCDFs	TEQ	Adjusted TEQ
	pg/g	pg/g	pg/g	pg TEQ/g	pg TEQ/g
Station EC (1)	60.5	24.0	84.5	1.82	1.38
Station 2	37.3	12.5	49.8	1.26	0.69
Station 3	52.2	19.6	71.8	0.57	0.53
Station 4	42.5	30.0	72.5	1.35	0.86
Station 5	30.5	19.7	50.2	1.09	0.83
Station 6	158.1	46.7	204.8	1.55	1.25
Station 7	88.6	38.8	127.4	0.67	0.61
Station 7 (duplicate)	77.5	39.1	116.6	1.18	0.96
Station 7 (average)	83.1	38.9	122.0	0.92	0.78
Station 8	94.1	56.5	150.6	2.21	1.91
Station 9	222.5	42.1	264.6	2.2	1.55
Station 10	44.7	16.2	60.9	0.85	0.67
Station 11	19.7	8.3	28.0	0.46	0.45
Average (region)	76.8	28.6	105.4	1.29	0.99
Station 12 (SIL)	97.9	31.1	129.0	1.73	1.31
Station 13 (Montreal)	36.7	15.1	51.7	0.76	0.61
Control station	7.6	0.0	7.6	0.8	

Comparison with literature

The average PCDD and PCDF levels measured in the pine needles collected at the end of August and at the beginning of December 2000 in Québec, and in the Jonquière region in particular, compared with those measured in Texas (Figure 2). However, the average levels were lower than those measured close to wood preservation plants in Texas (5.4 pg TEQ/g d.w.) and in Montana (7.7 pg TEQ/g d.w.; Safe *et al.*, 1992) or than those measured in Korea (urban area influenced by motor vehicle traffic; 4.5 to 8.2 pg TEQ/g d.w.; Ok *et al.*, 2000) or in Japan (13.6 and 18.3 pg TEQ/g d.w.; Myata *et al.*, 2000). The PCDD and PCDF content measured in the pine needles collected in the Kootenai National Park Forest and the Glacier-Waterton International Peace Park, the reference site used by Safe *et al.* (1992), reached less than 0.32 and less than 0.30 pg TEQ/g d.w. respectively, while in Cheju, the reference site used by Ok *et al.* (2000), the level was 0.5 pg TEQ/g d.w. In Germany, the PCDD and PCDF levels measured by Fiedler *et al.* (2000) in spruce needles varied from 0.31 to 1.12 pg TEQ/g d.w. in Bavaria, and from 1.2 to 2.67 pg TEQ/g p.s. in Hesse.

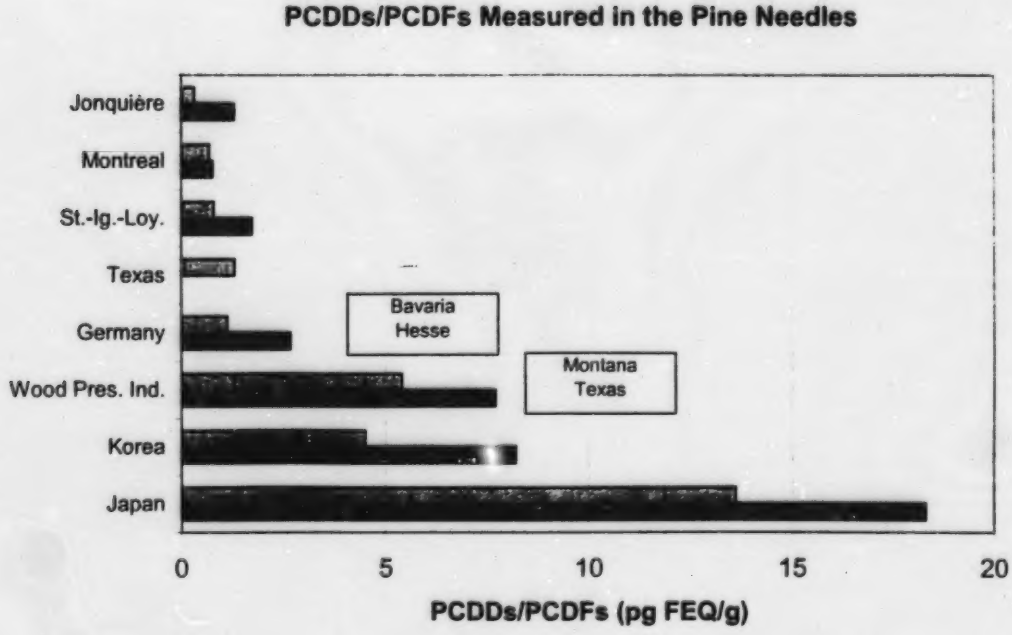


Figure 2 Comparison with documented levels of the average PCDD and PCDF levels measured in pine needles collected in Québec (*spruce needles)

PCDDs and PCDFs found in ambient air

Table 3 shows the statistical values of PCDDs and PCDFs measured between July 1, 2000, and March 31, 2001, in Chicoutimi, Jonquière and Montreal. Though the average, median and maximum values are higher in Chicoutimi during this period, the statistical analysis fails to show any significant differences ($p < 0.05$) between geometric averages and median values at the three stations.

Figure 3 shows that the average PCDD and PCDF levels recorded in the Saguenay and in Montreal compare with the calculated average (0.036 pg TEQ/m^3) for the whole of the stations where measurements were taken by Environment Canada between 1997 and 1999 (Dann, 2000). However, these were lower than those obtained in the Rivière-des-Prairies (RDP) neighborhood in Montreal, a sector influenced by wood heating activities (Germain *et al.*, 2001). In addition, they are approximately 2 times lower than those noted by Fiedler *et al.* (2000) in Hesse (average of 0.058 pg TEQ/m^3), Germany, and approximately 20 times lower than those measured by Myata *et al.* (2000) in Hiraka, Japan (averages of 0.408 and 0.535 pg TEQ/m^3). The highest documented average value is of 0.900 pg TEQ/m^3, recorded by Fiedler *et al.* (2000) in Saxe, Germany. It is interesting to note that once the units are set aside, the air/needle ratio varies from 0.025 to 0.034 in Jonquière, Montreal, Hiraka (Japan) and Hesse (Germany), though the average PCDD and PCDF levels are higher, in both the air and the needles, in Hesse (approx. 2.5 times) and in Hiraka (approx. 20 times) than in Jonquière. The limited data used shows that the $PCDD_{air}/PCDF_{needles}$ ratio is relatively constant, regardless of the levels present in the air.

Table 3 Statistical summary of PCDD and PCDF levels measured between July 1, 2000, and March 31, 2001, in ambient air in Chicoutimi, Jonquière and Montreal (pg/m^3 and pg TEQ/m^3)

Location and parameters	Average		Median	Maximum
	Arithmetic	Geometric		
Chicoutimi (n* = 12)				
PCDDs (pg/m^3)	2.104	0.924	0.617	12.720
PCDFs (pg/m^3)	0.781	0.515	0.599	1.631
PCDDs + PCDFs (pg/m^3)	2.885	1.517	1.293	14.040
pg TEQ/m^3	0.039	0.021	0.024	0.102
Jonquière (n = 10)				
PCDDs (pg/m^3)	1.302	0.735	0.572	4.110
PCDFs (pg/m^3)	0.552	0.283	0.278	1.365
PCDDs + PCDFs (pg/m^3)	1.854	1.174	1.719	5.016
pg TEQ/m^3	0.029	0.015	0.019	0.071
Montreal (n = 12)				
PCDDs (pg/m^3)	0.962	0.726	0.831	2.058
PCDFs (pg/m^3)	0.426	0.355	0.376	1.057
PCDDs + PCDFs (pg/m^3)	1.388	1.110	1.207	2.912
pg TEQ/m^3	0.025	0.020	0.023	0.054

*number of samples

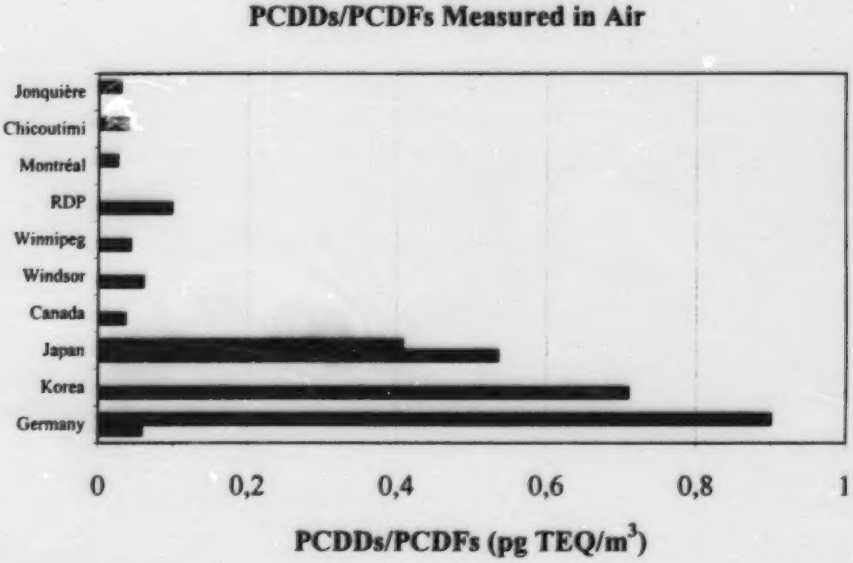


Figure 3 Comparison with documented levels of PCDD and PCDF levels measured in Chicoutimi, Jonquière and Montreal

PAHs and B(a)P found in ambient air

Table 4 shows the statistical values of benzo(a)pyrene or B(a)P, and of total PAHs measured between the beginning of July and the end of March in Chicoutimi, Jonquière and Montreal. As is the case for PCDDs and PCDFs, the median and average concentrations (geometric) are not significantly different between Chicoutimi and Jonquière, but are lower ($p < 0.05$) in Montreal. As regards the daily values, the highest value was measured in Jonquière and was approximately six times higher than the highest value recorded in Chicoutimi. The proximity of the aluminum plant and the prevailing wind direction are responsible for these results. The scope of the results is also greater in Jonquière and Chicoutimi than in Montreal. For purposes of statistical comparison, we have included the results of the B(a)P measured by the MENV, but did not do so for total PAHs, since the number of products measured by the two laboratories differed.

In Jonquière, the average and maximum levels of B(a)P and total PAHs measured between July 2000 and the end of March 2001 are lower than those measured between 1997 and 1999 (Dann, 2000). During this period (1997-1999), Jonquière had the highest levels of B(a)P and PAHs measured in the country, and these levels could be explained by the proximity of an aluminum plant using the horizontal stud Söderberg process. Results recorded in 2000-2001 in Jonquière cannot be compared to those recorded elsewhere in the country, since the data is unavailable for the period between July, 2000, and March 31, 2001, at the other sites. In Chicoutimi, the B(a)P levels are of the same order of magnitude as those recorded by the MENV between June 1993 and March 1994 (Bisson, 2001).

Table 4 Statistical summary of B(a)P and total PAHs measured between July 1, 2000, and March 31, 2001, in ambient air in Chicoutimi, Jonquière and Montreal (ng/m^3)

Product and location	Average		Median	Maximum
	Arithmetic	Geometric		
B(a)P				
Chicoutimi (n* = 12)	3.7	1.2	1.8	15.2
Jonquière (n = 16)	8.9	0.9	1.6	91.0
Montreal (n = 19)	0.3	0.2	0.2	1.2
PAHs				
Chicoutimi (n** = 9)	183.6	103.2	167.1	669.0
Jonquière (n = 16)	508.3	121.1	113.9	3834.3
Montreal (n = 19)	27.9	23.9	22.2	73.8

*number of data, including MENV data

**number of data, excluding MENV data given the different number of products measured by the laboratories

Evolution of PCDDs, PCDFs, PAHs and B(a)P measured in ambient air

Figure 4 shows the evolution of PCDD and PCDF levels measured in Jonquière and Montreal between 1995 and 2001. Reduced levels were noted in both places and the levels measured in 2000-2001 were approximately 2 times lower than those measured in 1995-1996. Except for 1996-1997, the PCDD and PCDF levels were similar at both sites. In 1996-1997, the discrepancy

between the two stations can be explained by the 2 high values recorded in November and December 1996 in Jonquière. The average annual values calculated since 1995-1996 are approximately 2 to 3 times lower than the MENV's revised guideline of 0.06 pg TEQ/m^3, a value not to be exceeded on an annual basis.

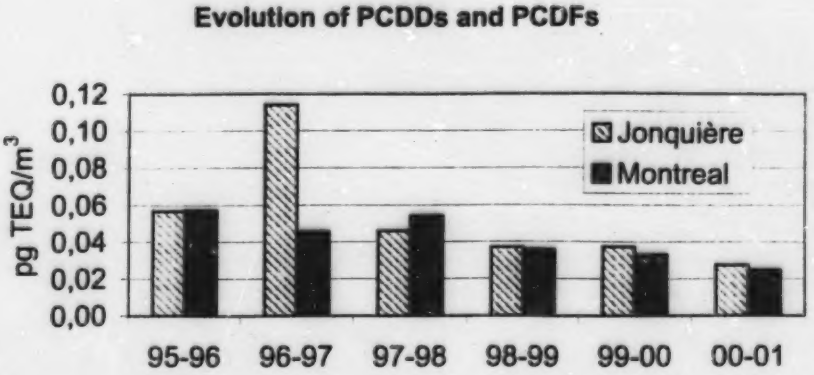


Figure 4 Evolution of PCDDs and PCDFs (in terms of toxic equivalent) in Jonquière and Montreal

Figure 5 illustrates the evolution of PAHs since the beginning of these measurements in 1989-1990. In Jonquière, the average value (geometric) of total PAHs occasionally increased and diminished during the period, but on the whole, there was an 85% reduction between 1989-1990 and 2000-2001. The most important reduction between two years was recorded between 1999-2000 and 2000-2001 when the reduction reached 60%. In Montreal, the average level of total PAHs varied less than in Jonquière, and the reduction noted since the beginning of the measurements reached 60%. While the average level measured in Jonquière was 10 times higher than in Montreal in 1989-1990, it was 4 times higher in 2000-2001.

Figure 6 shows that as is the case for total PAHs, B(a)P levels vary over the years in Jonquière and Montreal, and that on the whole, levels diminished between 1989-1990 and 2000-2001. There was a more important reduction in the geometric average in Jonquière (96%) than in Montreal (27%).

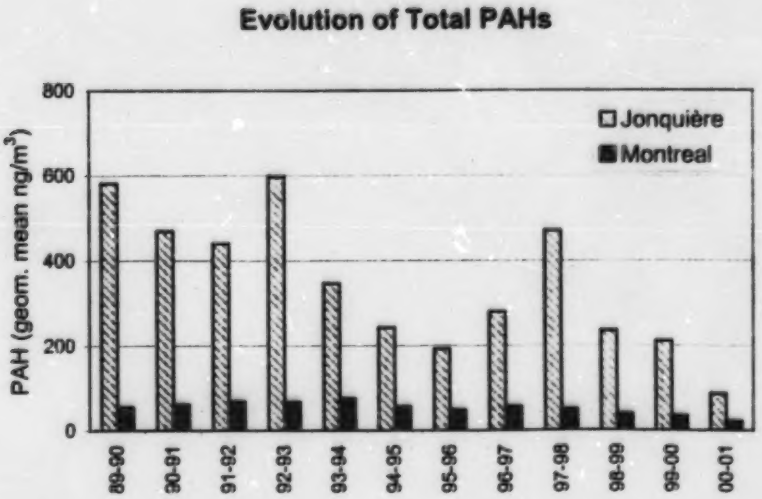


Figure 5 Evolution of total PAHs measured in Jonquière and Montreal

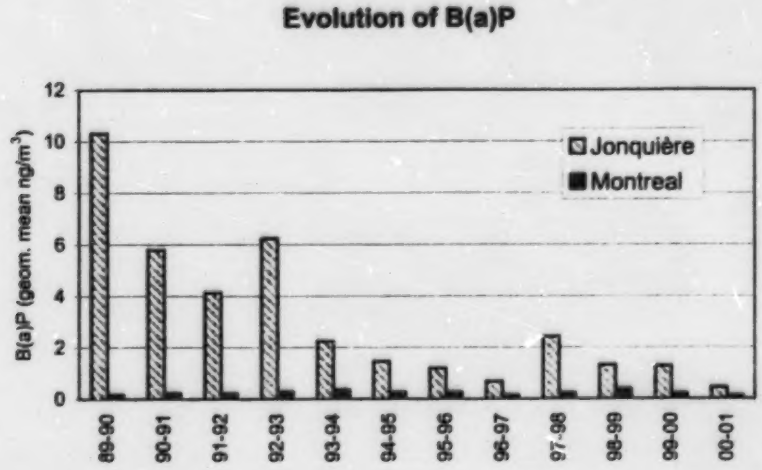


Figure 6 Annual evolution of B(a)P measured in Jonquière and Montreal

The wind factor

The levels of PCDDs, PCDFs and PAHs [including B(a)P] showed more important variations in Jonquière and Chicoutimi than in Montreal. Once statistics are calculated, we may tend to believe that certain samples were contaminated, given the important differences in levels; in fact, the statistical software flagged certain values as outliars. However, these results may be explained by studying weather conditions, including wind direction, on each day of sampling.

Table 5 shows the concentrations of PCDDs, PCDFs and B(a)P for the days when the wind blew mostly from one sector during the sampling procedure (except in one case, the days when the

wind blew from several sectors are not taken into account in the following). When the wind blew from the west, that is from Jonquière towards Chicoutimi, we had a first block of high levels of PCDDs, PCDFs and B(a)P, and a second with lower levels. When the wind blew from the east, that is from Chicoutimi towards Jonquière, the PCDD and PCDF samples were taken once simultaneously at both locations. Since there was only one pair of results, we have chosen to include another pair of results recorded when the wind included an important northern component. It should be stressed here that ambient air sampling was more frequent in Jonquière than in Chicoutimi, and that on a number of occasions, samples were taken in Jonquière but not in Chicoutimi while the wind blew from the east. In a previous report, Rousseau (2000) indicated that the highest PCDD and PCDF values were noted when the wind blew from the south. Unfortunately, we have no samples taken when the wind blew mainly from this zone between July, 2000, and the end of March, 2001.

Table 5 Levels of PCDDs, PCDFs and B(a)P measured on days when the wind blew mainly from one sector

Date and wind direction	Jonquière	Chicoutimi	Jonquière	Chicoutimi	Chicoutimi/Jonquière ratio	
	PCDD+PCDF	PCDD+PCDF	B(a)P	B(a)P	PCDD+PCDF	B(a)P
	pg TEQ/m^3	pg TEQ/m^3	ng/m^3	ng/m^3		
West wind						
1st block						
December 8	0.071	0.073	1.5	4.8	1.0	3.2
February 6	0.017	0.098	3.4	2.8	5.6	0.7
February 25	0.049	0.079	1.7	15.2	1.6	10.6
March 26	0.001	0.102	0.02	5.4	146	270
2nd block						
September 3	0.014	0.008	0.02	1.8	0.6	90
January 1	0.002	0.002	0.06	0.36	1.3	6
East wind						
November 14	0.057	0.002	91	0.02	0.03	0.002
*March 2**	0.051	0.034	2.9	11.0	0.6	3.8

*: Important northern and northeastern components.

In the first block, the PCDD and PCDF values were quite high in Chicoutimi where they vary between 0.073 and 0.102 pg TEQ/m^3, while in Jonquière, there are two days with higher values and two with lower values. In addition, there is a day during which the PCDD and PCDF levels are quite similar in Jonquière and Chicoutimi. As regards the B(a)P, levels were generally higher in Chicoutimi. As to the block of low values, the PCDD and PCDF levels diminished upon approaching Chicoutimi in one case, and are similar in the other; an increase in B(a)P was apparent in both cases. The ratio of the concentrations noted at both locations indicates that the increase in B(a)P was greater in Chicoutimi than the increase in PCDDs and PCDFs when the wind blows west. When the wind blows from the east, the PCDD and PCDF levels were higher in Jonquière, as was the case for B(a)P. It is precisely when the wind blew mostly from the east, and that the station was downwind from the aluminum plant for 18 hours during the 24-hour sampling exercise, that we measured the highest values of B(a)P in Jonquière. The PAHs are not shown in Table 5, but present a behaviour similar to that of B(a)P.

Levels are also influenced by wind speed. Thus, on January 1, 2000, PCDD, PCDF and B(a)P levels were low at both locations, while the average wind speed was 23.6 km/h. Rousseau (2000) has illustrated that the PCDD, PCDF and PAH levels were inversely proportional to wind speed in Jonquière.

Discussion

We know that diesel trucks are responsible for 5% of PCDD and PCDF emissions in Canada, and the results obtained close to the Metropolitan highway in Montreal tend to prove the impact of motor vehicle traffic since levels there are high. We understand that no wood heating or industrial activities are known to release PCDDs and PCDFs in the vicinity of this station; in addition, the levels expressed in terms of TEQ did not increase between the end of the summer and the beginning of the winter. Motor vehicle traffic may be a source of PCDDs and PCDFs at stations 8 (Chicoutimi) and 9 (Jonquière), but its impact is not as important as that at the Montreal station since the volume of motor vehicle traffic is lower.

Wood heating, a popular activity in the Saguenay–Lac-Saint-Jean region, is certainly one source to be considered. We know for a fact that it is a source of PCDD and PCDF emissions, as shown by the results obtained in Jonquière's more residential neighborhood where levels increased between the end of August and the beginning of December. Bremmer *et al.* (1994) indicated that the PCDD and PCDF emissions from a wood stove may increase from 5 to 25 times if contaminated wood (painted, treated or other) is burned, rather than dry wood intended for wood heating. Launhardt *et al.* (1998) also mentioned that the combustion of painted wood or of a blend of plastic and wood generates up to 40 times more PCDDs and PCDFs than dry wood intended for wood heating. They also report that paper and cardboard combustion releases 2 to 20 times more PCDDs and PCDFs. The ashes also contain many more contaminants when waste or treated or painted wood is burned. Residential wood combustion represents 2% of the total PCDD and PCDF emissions in Canada.

The presence of metal reclaimers (or metal recycling firms) in Jonquière's industrial park may explain in part the higher values of PCDDs and PCDFS noted in the south section of Jonquière. Bremmer *et al.* (1994) reported that the heating or burning of electric cable to rid it of its plastic sheath releases approximately 40 µg TEQ of PCDDs and PCDFs per tonne (µg TEQ/t) of cable when conducted using the appropriate equipment. They believe that when this combustion is carried out illegally in makeshift installations, 500 µg TEQ/t, sometimes more, are released. Tiernan *et al.* (1989) measured the PCDDs and PCDFs at several locations in Dayton (Ohio), including one station located at approximately 300 m from a domestic waste incinerator (capacity of 150,000 tonnes/year) and at less than 1 kilometre from a plant that rid metals of PVC in a pyrolisis furnace. When only the incinerator was in operation, they measured an average of 3.36 pg/m^3 of PCDDs and PCDFs, while the level increased to 16.12 pg/m^3 when the pyrolisis furnace was in operation. The capacity of this plant's furnace was 182 kg per 9-hour period. Three metal reclaimers in Jonquière have already been convicted of having burned cable waste in makeshift installations, while another holds an authorization certificate issued by the MENV for a compliant installation intended for metal refusion (Labrecque, 2001).

In Jonquière, a firm repairing electric motors heats them in ovens to burn the varnish on the wiring. These ovens were installed without the MENV's authorization, and the MENV demanded that the company characterize its emissions and file a request for an authorization certificate in order to pursue its activities (Labrecque, 2001). Heating a motor in an oven to recover the metal compares with burning electric wires and Bremmer *et al.* (1994) identified this process as a source of PCDD and PCDF emissions to the air. This company's facilities are located south of the station used since 1989 by Environment Canada. In December, the PCDD and PCDF levels were similar in the pine needles planted at stations 3 and 5, located on either side of this recycler's facilities (while taking prevailing winds into account); however, levels were higher at station 5, closer to the motor recycler's facilities, when the levels were expressed in terms of TEQ. In August, the levels were too close to detection limits to draw a conclusion. Note that the winds blew from the south when we measured 2 high values in 1996, but that we didn't take any samples when the wind blew from this sector during the 2001 campaign.

Germain *et al.* (2000) showed that the station at Saint-Ignace-de-Loyola, located downwind from the iron and steel works in Sorel, was influenced by these works located at approximately 3.5 km. We know that the arc furnaces used in the production of steel release approximately 7% of the total PCDDs and PCDFs in Canada (Environment Canada, 2001). The levels found in the pine needles in Saint-Ignace-de-Loyola appeared to show the impact of Sorel's industrial activity on air quality in this region. The arc furnaces are the main source of PCDDs and PCDFs released by iron and steel works.

The high levels registered in rural areas in the summer may at first seem surprising, but burning waste in barrels or open fire burning is an important source of PCDD and PCDF emissions. Lemieux *et al.* (2000), from the US EPA, mentioned that burning waste in 220-litre (or 45-gallon) barrels releases between 6 and 264 µg of PCDDs and PCDFs per kg of waste, which is much more than the 0.0035 µg/kg released by a municipal waste incinerator burning 180,000 kg per day. They believe that between 40 to 50% of people living in rural areas in Illinois have adopted this practice and that burning waste in 2 to 40 barrels produces as many PCDDs and PCDFs in one day as does a municipal waste incinerator burning 180,000 kg. The Americans rate that burning waste in barrels, a procedure they call "backyard burning", produces close to 30% of all PCDDs and PCDFs released to the air in one year. In Switzerland, the federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communication (DETEC, 2000) believes that the illegal burning of household waste represents 1 to 2% of incinerated waste, and that this type of burning causes the release of more than twice the total emissions released by household waste and special waste incinerators combined. These observations have prompted Environment Canada to include this source in the Canadian inventory; it represents slightly more than 10% of all PCDD and PCDF emissions (Environment Canada, 2001).

In Jonquière and Chicoutimi, the increase in PCDDs and PCDFs noted in the pine needles from the summer to the beginning of the winter could be explained in part by a longer exposure (145 days vs 50 days), but more particularly by the contribution of sources such as wood heating, open fire burning or "backyard burning", road transport and perhaps certain industrial sources, including metal recyclers and metal reclaimers. In Jonquière, the city's fire prevention service issues less than 20 permits per year for burning waste in barrels, but some people do so without requesting a permit (Laplante, 2001). When the results are studied on the basis of prevailing

winds, the PCDD and PCDF levels in the pine needles appear to be slightly higher in the southern section of the Jonquière area.

Conclusion

In August, there are more PCDDs and PCDFs in the needles collected in Saint-Ignace-de-Loyola, in Montreal and at the pilot station located in a rural area. In December, the levels increase at all stations, except in Montreal where they remain similar to those recorded in the month of August. The period of exposure of the needles to air pollution may be the cause of the increase in levels over the levels measured in August, but no increases were noted at the pilot station located in Montreal, a station influenced by motor vehicle traffic. In the Saguenay, traffic is a probable source of PCDDs and PCDFs, but at a lesser level than in Montreal. Residential wood heating is probably an important source of PCDD and PCDF emissions to air in the Jonquière region. Open fire waste burning and certain industries, including metal reclaimers and metal recyclers that rid the wiring of electric motors of its plastic sheath or varnish may also release these substances during the combustion process. We know that three metal reclaimers in Jonquière have already been convicted of having illegally burned cables or electric wiring to recover the metal; another does it legally and an electric motor recycler has requested an authorization certificate from the MENV (Labrecque, 2001). The PCDD and PCDF levels were no higher in the pine needles taken from the pines planted on either side of this facility, but were higher at the closest station when the levels were expressed in terms of TEQ or toxic equivalent.

In this project, the levels of PCDDs and PCDFs present in the pine needles are similar to those measured in an urban environment in the United States and approximately 5 times lower than those measured close to wood preservation plants in the United States. They are up to 40 times lower than in Korea or in Japan where PCDDs and PCDFs are present in great quantity in the air.

In ambient air, there are no significant differences in PCDD and PCDF levels measured in Jonquière, Chicoutimi and Montreal, and the levels are similar to those recorded elsewhere in Canada between 1997 and 1999. On the other hand, the levels are approximately 10 times lower than those measured in the vicinity of a municipal waste incinerator and a reclaimer of PVC-coated electric wires in the United States, 20 times lower than those measured in Japan, or 40 times lower than those measured in Saxe, Germany.

Though PCDD and PCDF levels vary slightly depending on wind direction, they do not set out any significant trend since we measured high and low values for the same sector of origin. Since 1995-1996, the average levels diminished by approximately 50% in Jonquière and Montreal, and are 2 to 3 times lower than the MENV's revised annual guideline.

When we study the PCDD and PCDF levels measured in the needles and in ambient air, we notice that the pine needles are capable of absorbing PCDDs and PCDFs and of serving as bioindicators. The relationship between levels measured in the air and the needles is relatively constant, no matter the levels present in the air.

As regards the PAHs and the B(a)P, the levels are similar in Jonquière and Chicoutimi while they are lower in Montreal. In Jonquière, the values measured between July 2000 and March

2001 are lower than those reported by Dann in 1998, and since 1989, there has been a descending trend for PAHs and B(a)P, that is 96% for the B(a)P and 85% for the PAHs in ambient air in Jonquière. In Montreal, the reductions reach 27% and 60% respectively. In Jonquière, the most marked reduction was noted between 1999-2000 and 2000-2001, when Alcan modified the composition of the anodic paste used in its electrolytic cells. In Chicoutimi, the levels measured between July 2000 and the end of March 2001 are similar to those recorded in 1993-1994 by the MENV. Contrary to the PCDDs and PCDFs, the PAHs vary greatly depending on wind direction, since the highest values were measured when the stations were downwind from the aluminum plant. In fact, the highest value was recorded in Jonquière when the station was downwind from the aluminum plant for almost the whole day of sampling.

Recommendations

Among the probable sources of PCDDs and PCDFs in Jonquière, let us mention wood heating, open fire burning (or *back yard burning*), motor vehicle traffic, and certain industrial facilities. Given that the levels in Chicoutimi and Jonquière are similar to those in Montreal, that they are lower that the MENV criterion, and that regular sampling activities are pursued in Jonquière, we recommend the measurement of emissions stemming from the activities at the facilities of metal reclaimers and metal recyclers which recover metal by heating cables and electric motors. An awareness campaign urging better use of wood stoves and on the effects of backyard burning would also allow a reduction in the levels of PCDDs and PCDFs in the air.

References:

Allaire, M., M. Barber, R.S. Friar and R. Roussel (1993). Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) at a Point Source of Emissions. Part B : PAH Emissions Reduction at a Horinzontal Stud Soderberg Plant at Jonquiere, Quebec, Canada and the Evolution of B[a]P in Ambient Urban Air. *J. Air Waste. Manege. Assoc.* 43 :85-90

Bisson, M. (2001). Niveaux de B(a)P mesurés par le MENV entre juin 1993 et mars 1994. Ministère de l'Environnement du Québec. Personnal communication with A. Germain

Bremmer, H.J., L.M. Troost, G. Kuipers, J. DeKoning and A.A. Sein (1994). *Emissions of dioxins in The Netherlands*. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven and Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), Apeldoorn. Report No. 770501018.

Dann, T. (2000). Valeurs statistiques de PCDD/PCDF pour 13 stations de surveillance au Canada. Environnement Canada. Personnal communication with A. Germain

Dann, T. (1998). Ambient Air Measurements of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), Polychlorinated Dibenzo-*p*-Dioxins (PCDD) and Polychlorinated Dibenzofurans in Canada (1987-1997). Environment Canada, Environmental Technology Centre, Analysis and Air Quality Division, Report AAQD 98-3, Ottawa (Ont), 47 p.

DETEC (Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication; 2000). Communiqué de presse *Pollution indigène de dioxine par l'incinération sauvage des déchets.* Site internet accédé le 16 février 2000 http://www.evek.admin.ch/doku/presse/f/99092101.htm

Environnement Canada (2001). Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene Inventory of releases "Update". Prepared by Environment Canada and the Federal/Provincial Task Force on Dioxins and Furans for the Federal-Provincial Advisory Committee for the Canadian Environmental Protection Act (CEPA-FPAC), Hull (Qc), 41 p.

Environment Canada (1997). PCB Reference Method EPS 1/RM/31, March, 1997.

Fiedler, H., H. Rottler, L. Peichl, G. Knetsch and A. Basler (2000). Concentrations of PCDD/PCDF in Atmospheric Samples in Germany *in* Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Montery, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 45 : 364-268

GDG Environnement (1995). Inventaire des bio-indicateurs atmosphériques utilisables au Québec Tome 1. Report prepared for Environment Canada, Environmental Protection Branch, Quebec Region. 70 p + appendices

Germain, A., P. Beaudoin and B. Lafortune (2000). Air Quality Observed in the Sorel Region in 1995. Environment Canada, Environmental Protection Branch, Quebec Region, Air Isues Section, Montréal (Qc), 9 p.

Germain, A., M. Benjamin and C. Gagnon (2001). Impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air d'un quartier résidentiel de Montréal *in* Americana 2001, Sommaire exécutif des conférences. Des solutions pour un monde en changement. Salon des technologies environnementales, Réseau Environnement, Montréal, mars 2000, pp 247-248

Germain, A. and M. Bisson (1992). Mesure d'hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant au Québec (Canada) *in* Compte Rendu 5^{e} Colloque sur les substances toxiques tenu à Montréal les 1er et 2 avril 1992 pp 47-57

Grenon, S. and B. Lafortune (1997). Moss Bags Technique as a Reliable Atmospheric Monitoring Tool : Conparison with PM10-2.5 Analyzer Poster PHA 134 presented at SETAC 18th Annual Meeting, Bridging the Global Environment : Technology, Communication, and Education. November 16-20, 1997, San Francisco, CA

Labrecque, D. (2001). Ferrailleurs et recycleurs de moteurs électriques. Ministère de l'Environnement du Québec. Personnal communication with A. Germain

Lapointe, N. (2001). Émissions de permis pour le brûlage de déchets domestiques dans des barils à Jonquière. Service des incendies de Jonquière. Personnal communication with A. Germain

Launhardt, L., A. Strehler, R. Dumler-Gradl, H. Thoma and O. Vierle (1998) PCDD/F- and PAH-Emission from House Heating Systems. *Chemos.* 37 : 2013-2020

McLachlan,M.S., A. Reischl and M. Reissinger (1989). Monitoring of Organic Air Pollutants using Terrestrial Plants *in* Man and his Ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989, Brasser, L.J. et W.C. Mulder (eds) Delft (The Netherlands) 87-93

Miyata, H., S. Takamitsu, N. Iwata, T. Nakao, O. Aozasa and S. Ohta (2000). Investigation of Assessment of Air Pollution by Dioxin Analogues using Japanese Black Pine Needle as an Indicator *in* Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Montery, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 46 : 373-376

Ok, G., S.H. Hi, S.J. Kim, H.B. Moon, Y.K. Kim, Y.S. Kim and Y.SH. Han (2000). Monitoring of Air Pollution by Polychlorinated Dibenzo-*p*-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans in Korea Using Pine Needles *in* Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Montery, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 46 : 419-422

Rousseau, J. (2000). Identification des sources potentielles des polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et des polychlorodibenzofurannes (PCDF) à l'atmosphère mesurées dans la région de Jonquière entre 1991 et 1999. Document de travail. Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, région du Québec, Enjeux atmosphériques, Montréal (Québec), 62 p. + annexes

Safe,S.; K.W. Brown, K.C. Donnelly, C.S. Anderson, K.V. Markiewicz, M. S. McLachlan, A. Reischl and O. Hutzinger (1992). Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans Associated with Wood-Preserving Chemical Sites : Biomonitoring with Pine Needles. *Environm. Sci. Technol.* 26 :394-396

Tiernan, T.O., D.J. Wagel, G.F. Vanness, J.H. Garrett, J.G. Solch and L.A. Harden (1989). PCDD/PCDF in the Ambient Air of Metropolitan Area in the U.S. *Chemos.* 19 : 541- 546

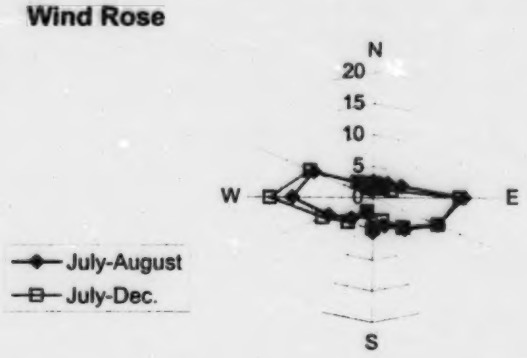
Viskari, Eeva-Liisa (2000). Epicuticular Wax of Norway Spruce Needles as Indicator of Traffic Pollutant Deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 121 :327-337

Annex. 1 Sampling dates of PAHs, PCDDs and PCDFs in Jonquière, Chicoutimi and Montréal

	Jonquière		Chicoutimi		Montreal	
	PCDD/PCDF	HAP	PCDD/PCDF	HAP	PCDD/PCDF	HAP
00-07-05		X				
00-07-17						
00-07-29		X				X
00-08-10	X	X	X[2]	X[2]	X	X
00-08-22						X
00-09-03	X	X	X	X	X	X
00-09-15						
00-09-27			X	X		
00-10-09		X				X
00-10-21			X[3]	X[3]		
00-10-27			X	X		
00-11-02		X				X
00-11-14	X	X	X	X		X
00-11-26		X				X
00-12-08	X	X	X	X	X	X
00-12-20		X			X	X
01-12-26						X
01-01-01	X	X	X	X	X	X
01-01-13		X			X	X
01-01-25	X	X	X	X	X	X
01-02-06	X	X	Y[4]	Y	X	X
01-02-18	X[1]	X[1]	X	X		X
01-03-02	X	X	Y	Y	X	X
01-03-14	X	X	X	X	X	X
01-03-26	X	X	Y	Y	X	X

1 : Field blank
2 : results not available, problems during transport to laboratory
3 : sample lost following vandalism at the station, new sample on October 27
4 : Y : samples analysed by the MENV

Annex 2 Wind rose (%) noted in Jonquière for the periods July-end of August and July-December



Annex 3 Average recovery of products tagged with radioisotopes and added to the pine needles

Tagged Product	August		December	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
$^{13}C_{12}$-TCDD	74.2	7.6	63.2	8.0
$^{13}C_{12}$-TCDF	72.9	13.2	65.4	8.7
$^{13}C_{12}$-P5CDD	65.1	8.3	56.9	16.8
$^{13}C_{12}$-P5CDF	69.3	5.9	61.4	9.4
$^{13}C_{12}$-H6CDD	66.8	5.7	61.3	10.1
$^{13}C_{12}$-H6CDF	74.4	7.9	65.9	7.6
$^{13}C_{12}$-H7CDD	66.1	13.5	65.1	10.6
$^{13}C_{12}$-H7CDF	63.6	7.7	65.3	8.3
$^{13}C_{12}$-OCDD	49.2	9.5	59.6	8.3

Annex 4 Average recovery of products tagged with radioisotopes during the analysis of air samples

Tagged Product	Jonquière	Chicoutimi
$^{13}C_{12}$-TCDD	79.3	76.7
$^{13}C_{12}$-TCDF	86.3	79.3
$^{13}C_{12}$-P5CDD	80.1	76.2
$^{13}C_{12}$-P5CDF	79.1	75.7
$^{13}C_{12}$-H6CDD	84.1	76.9
$^{13}C_{12}$-H6CDF	86.9	80.3
$^{13}C_{12}$-H7CDD	77.2	71.7
$^{13}C_{12}$-H7CDF	79.0	73.3
$^{13}C_{12}$-OCDD	70.3	65.7

Annex 5 Percentage of moisture in pine needles

Station	Fall	Winter
	Percentage (%)	Percentage (%)
Station EC (1)	56.9	59.1
Station 2	55.5	55.9
Station 3	56.5	59.7
Station 4	54.9	58.0
Station 5	53.1	56.9
Station 6	57.9	57.2
Station 7	58.8	58.3
Station 7 (duplicate)	55.5	56.4
Station 7 (average)	57.2	57.4
Station 8	79.8	58.3
Station 9	57.0	58.4
Station 10	59.0	56.5
Station 11	58.5	57.7
Average (region)	58.8	57.7
Station 12 (SIL)	59.8	55.1
Station 13 (Montreal)	63.1	65.0
Control station	85.8	85.8

Annex 6 Average concentrations of PCDDs/PCDFs measured in the air in Jonquière, Chicoutimi and Montreal (pg/m^3)

	Chicoutimi				Jonquière				Montreal			
Congener	average	standard deviation	median	maximum	average	standard deviation	median	maximum	average	standard deviation	median	maximum
2378-TCDD	0.003	0.002	0.002	0.007	0.002	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.002	0.005
12378-P5CDD	0.013	0.013	0.006	0.040	0.008	0.008	0.006	0.026	0.010	0.006	0.009	0.019
123478-H6CDD	0.016	0.018	0.006	0.049	0.009	0.010	0.004	0.031	0.008	0.007	0.007	0.018
123678-H6CDD	0.031	0.047	0.012	0.170	0.014	0.017	0.005	0.053	0.014	0.011	0.013	0.030
123789-H6CDD	0.044	0.067	0.014	0.230	0.027	0.030	0.018	0.095	0.021	0.018	0.019	0.053
1234678-H7CDD	0.285	0.414	0.099	1.500	0.199	0.236	0.084	0.649	0.150	0.100	0.114	0.320
OCDD	0.869	1.472	0.363	5.400	0.547	0.646	0.213	1.931	0.426	0.278	0.370	0.862
2378-TCDF	0.062	0.044	0.044	0.140	0.050	0.064	0.019	0.210	0.030	0.018	0.026	0.076
12378-P5CDF	0.010	0.009	0.006	0.024	0.007	0.006	0.004	0.015	0.005	0.004	0.005	0.011
23478-P5CDF	0.015	0.013	0.012	0.039	0.013	0.013	0.006	0.035	0.009	0.006	0.008	0.019
123478-H6CDF	0.039	0.034	0.025	0.097	0.028	0.028	0.017	0.068	0.019	0.012	0.017	0.043
123678-H6CDF	0.015	0.014	0.009	0.045	0.011	0.010	0.007	0.027	0.007	0.004	0.007	0.015
234678-H6CDF	0.020	0.019	0.015	0.061	0.013	0.014	0.009	0.037	0.010	0.008	0.009	0.027
123789-H6CDF	0.004	0.005	0.002	0.016	0.002	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001	0.002	0.004
1234678-H7CDF	0.065	0.057	0.047	0.190	0.052	0.042	0.039	0.118	0.041	0.023	0.036	0.080
1234789-H7CDF	0.008	0.009	0.004	0.029	0.007	0.006	0.004	0.020	0.005	0.004	0.003	0.014
OCDF	0.112	0.146	0.058	0.510	0.059	0.057	0.031	0.191	0.043	0.026	0.042	0.083
Total TCDD	0.045	0.046	0.026	0.140	0.037	0.048	0.011	0.124	0.022	0.029	0.010	0.086
Total P5CDD	0.125	0.146	0.053	0.400	0.071	0.100	0.024	0.314	0.063	0.066	0.038	0.182
Total H6CDD	0.427	0.693	0.125	2,400	0.210	0.253	0.111	0.812	0.152	0.137	0.141	0.378
Total H7CDD	0.687	1.247	0.180	4.500	0.439	0.547	0.163	1.489	0.300	0.202	0.237	0.593
OCDD	0.869	1.472	0.363	5.400	0.547	0.646	0.213	1.931	0.426	0.278	0.370	0.862
Total PCDDs	**2,104**	**3.501**	**0.617**	**12,720**	**1.302**	**1.455**	**0.572**	**4.110**	**0.962**	**0.685**	**0.831**	**2,058**
Total TCDF	0.265	0.205	0.185	0.713	0.179	0.210	0.062	0.609	0.149	0.121	0.104	0.476
Total P5CDF	0.165	0.131	0.127	0.380	0.125	0.134	0.052	0.346	0.091	0.063	0.086	0.216
Total H6CDF	0.159	0.142	0.127	0.410	0.104	0.101	0.070	0.27:	0.080	0.050	0.068	0.186
Total H7CDF	0.102	0.077	0.097	0.240	0.085	0.068	0.077	0.217	0.065	0.036	0.060	0.123
OCDF	0.121	0.149	0.070	0.510	0.059	0.057	0.031	0.191	0.043	0.026	0.042	0.083
Total PCDFs	**0.781**	**0.585**	**0.599**	**1.631**	**0.552**	**0.538**	**0.278**	**1.365**	**0.426**	**0.270**	**0.376**	**1.057**
PCDDs + PCDFs	**2.885**	**3.840**	**1.293**	**14.040**	**1.854**	**1.593**	**1.719**	**5.016**	**1.388**	**0.927**	**1.207**	**2,912**
TEQ (equivalence factor)	**0.039**	**0.038**	**0.024**	**0.102**	**0.029**	**0.026**	**0.019**	**0.071**	**0.025**	**0.016**	**0.023**	**0.054**

Annex 7a Summary of the results of different PAHs measured in the air in Jonquière (n = 16) between July 2000 and March 2001 (ng/m^3)

	Detection frequency	Average		Median	Minimum	Maximum
		arithmetic	geometric			
Acenaphthylene	100.0	4.897	1.825	2,875	0.161	21.843
Acenaphthene	100.0	14.144	2.706	3.117	0.088	68.907
Fluorene	100.0	12.933	4.291	4.996	0.312	69.111
2-Me-Fluorene	100.0	2.166	0.758	0.685	0.061	12.531
Phénanthrene	100.0	103.228	28.027	30.390	2.242	649.965
Anthracene	100.0	9.577	2.140	2.598	0.120	60.605
Fluoranthene	100.0	83.428	24.938	23.701	2.292	604.983
Pyrene	100.0	60.715	15.269	14.284	0.773	467.743
Benzo(a)Fluorene	100.0	5.120	1.077	1.210	0.031	43.954
Benzo(b)Fluorene	100.0	2.758	0.474	0.581	0.011	26.645
1-Me-Pyrene	100.0	1.736	0.400	0.555	0.009	13.105
Benzo(g,h,i)Fluoranthene	100.0	3.060	0.976	1.412	0.064	21.030
Benz(a)Anthracene	100.0	14.598	1.485	2.435	0.020	148.150
Chrysene	100.0	42.989	5.632	4.382	0.186	397.897
Triphenylene	100.0	9.288	1.923	1.222	0.098	78.291
7-Me-Benz(a)Anthracene	31.3	0.016	0.008	0.005	< l.d.	0.094
Benzo(b)Fluoranthene	100.0	61.246	7.678	5.680	0.179	514.584
Benzo(k)Fluoranthene	100.0	13.955	1.716	1.466	0.040	117.592
Benzo(e)Pyrene	100.0	30.012	3.495	2.668	0.077	253.674
Benzo(a)Pyrene	100.0	8.868	0.889	1.609	0.018	90.984
Perylene	81.3	1.316	0.254	0.321	0.009	10.953
3-Me-Cholanthrene	0.0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	100.0	9.219	1.496	1.877	0.057	73.802
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracene	87.5	2.082	0.221	0.250	< l.d.	19.233
Benzo(b)Chrysene	62.5	0.637	0.077	0.101	< l.d.	5.365
Benzo(g,h,i)Perylene	100.0	10.273	1.552	2.095	0.048	84.993
Anthanthrene	56.3	0.238	0.060	0.105	< l.d.	1.684
TOTAL PAHs	100.0	508.290	121.119	113.905	8.772	3834.341

Annex 7b Summary of the results of different PAHs measured in the air in Chicoutimi (n = 12) between July 2000 and March 2001 (ng/m^3)

	Detection frequency	Average		Median	Minimum	Maximum
		arithmetic	geometric			
Acenaphthylene	100.0	6.033	2.084	3.141	0.182	23.078
Acenaphthene	100.0	13.240	2.995	4.089	0.040	48.000
Fluorene	100.0	9.495	4.865	5.611	0.312	26.000
2-Me-Fluorene	100.0	0.939	0.538	0.572	0.054	3.432
Phenanthrene	100.0	41.960	25.087	26.945	1.363	123.388
Anthracene	100.0	2.715	1.560	1.887	0.094	9.728
Fluoranthene	100.0	34.739	23.967	29.451	2.698	97.236
Pyrene	100.0	24.799	16.149	19.833	1.792	73.481
Benzo(a)Fluorene	100.0	2.022	1.129	1.972	0.137	7.104
Benzo(b)Fluorene	100.0	0.916	0.473	0.868	0.054	3.505
1-Me-Pyrene	100.0	0.654	0.372	0.547	0.087	2.481
Benzo(g,h,i)Fluoranthene	100.0	1.597	1.026	1.356	0.190	4.184
Benz(a)Anthracene	100.0	5.730	2.470	4.286	0.145	20.567
Chrysene	100.0	3.625	2.112	3.004	0.250	12.689
Triphenylene	100.0	19.739	10.856	17.757	0.328	52.046
7-Me-Benz(a)Anthracene	11.1	0.009	0.006	0.006	< l.d.	0.044
Benzo(b)Fluoranthene	100.0	24.577	13.239	26.752	0.223	72.195
Benzo(k)Fluoranthene	100.0	7.540	3.625	6.589	0.053	22.000
Benzo(e)Pyrene	100.0	13.001	6.894	13.710	0.103	36.812
Benzo(a)Pyrene	100.0	4.357	1.730	3.179	0.019	15.210
Perylene	83.3	0.446	0.162	0.362	< l.d.	1.550
3-Me-Cholanthrene	0.0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	100.0	4.180	2.364	3.840	0.074	11.468
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracene	83.3	0.923	0.379	0.835	< l.d.	2.672
Benzo(b)Chrysene	66.7	0.159	0.078	0.113	< l.d.	0.642
Benzo(g,h,i)Perylene	100.0	4.672	2.718	4.427	0.120	13.807
Anthanthrene	75.0	0.193	0.091	0.150	< l.d.	0.700
TOTAL PAHs	100.0	225.837	137.780	183.495	8.374	668.983

Annex 7c Summary of the results of different PAHs measured in the air in Montreal (Ontario and Amherst; n = 19) between July 2000 and March 2001 (ng/m^3)

	Detection frequency	Average		Median	Minimum	Maximum
		arithmetic	geometric			
Acenaphthylene	100.0	2.004	1.218	1.451	0.141	6.552
Acenaphthene	100.0	0.842	0.652	0.681	0.162	2.923
Fluorene	100.0	2.582	2.152	2.245	0.59	5.586
2-Me-Fluorene	100.0	0.912	0.758	0.706	0.235	2.334
Phenanthrene	100.0	9.543	8.223	7.827	3.66	23.218
Anthracene	100.0	0.670	0.549	0.556	0.204	1.881
Fluoranthene	100.0	2.963	2.593	2.499	1.212	7.085
Pyrene	100.0	2.090	1.805	1.778	0.786	5.698
Benzo(a)Fluorene	100.0	0.196	0.155	0.142	0.059	0.712
Benzo(b)Fluorene	100.0	0.093	0.074	0.074	0.024	0.302
1-Me-Pyrene	100.0	0.120	0.095	0.092	0.031	0.373
Benzo(g,h,i)Fluoranthene	100.0	0.348	0.279	0.237	0.117	0.962
Benz(a)Anthracene	100.0	0.304	0.203	0.192	0.036	1.297
Chrysene	100.0	0.878	0.627	0.781	0.123	3.502
Triphenylene	100.0	0.260	0.188	0.199	0.048	1.093
7-Me-Benz(a)Anthracene	5.3	0.005	0.004	0.005	< l.d.	0.011
Benzo(b)Fluoranthene	100.0	1.422	0.944	1.133	0.175	6.362
Benzo(k)Fluoranthene	100.0	0.365	0.254	0.263	0.049	1.519
Benzo(e)Pyrene	100.0	0.762	0.497	0.513	0.093	3.520
Benzo(a)Pyrene	100.0	0.299	0.185	0.203	0.037	1.174
Perylene	57.9	0.040	0.019	0.019	< l.d.	0.206
3-Me-Cholanthrene	0.0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	100.0	0.467	0.349	0.420	0.075	1.749
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracene	84.2	0.059	0.038	0.044	< l.d.	0.292
Benzo(b)Chrysene	42.1	0.017	0.012	0.011	< l.d.	0.071
Benzo(g,h,i)Perylene	100.0	0.594	0.444	0.483	0.125	2.458
Anthanthrene	52.6	0.037	0.024	0.021	< l.d.	0.160
TOTAL PAHs	100.0	27.890	23.905	22.169	9.112	73.774

Environnement Canada
Direction de la protection de l'environnement
Région du Québec

Environment Canada
Environmental Protection Branch
Québec Region

Canada

Utilisation d'aiguilles de pins pour l'identification de sources de polychlorodibenzo-*p*-dioxines et de polychlorodibenzofurannes à l'atmosphère dans la région de Jonquière

André Germain,
Direction de la protection de l'Environnement, région du Québec

Chung Chiu et Gary Poole
Centre de technologie environnementale
Environnement Canada

Montréal (Québec)

2002

Remerciements

Ce projet n'aurait pu se faire sans la collaboration de plusieurs partenaires, soient :

- le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN),
- le ministère de l'Environnement du Québec (MENV),
- le laboratoire du ministère de l'Environnement du Québec,
- la Commission scolaire des rives du Saguenay,
- la ville de Jonquière,
- la ville de Chicoutimi,
- le Conseil régional de l'environnement Saguenay-Lac-Saint-Jean,
- la compagnie Alcan Ltée,
- la compagnie Abitibi-Consolidated Ltée,
- la SITQ Immobilier,
- la Direction de la prévention de la pollution par les toxiques et la Direction de la prévention de la pollution atmosphérique d'Environnement Canada,
- le laboratoire du Centre de technologie environnementale d'Environnement Canada.

Sans nommer tous les participants, nous tenons quand même à remercier spécialement :

- madame Guertin pour l'utilisation de son terrain à Saint-Ignace-de-Loyola,
- monsieur Jean-Pierre Girard du MRN du Québec qui nous a fourni les pins,
- monsieur Stéphane Gagné du MENV pour l'opération de la station de Chicoutimi,
- monsieur Daniel Labrecque du MENV pour les commentaires du contenu du rapport et les informations sur les industries de la région,
- messieurs Lucien Simard de la compagnie Alcan Ltée et Pierre Arseneault de la ville de Jonquière pour l'aide apportée lors de la plantation des arbres et pour l'entretien ultérieur,
- monsieur Pierre Walsh du MENV pour les analyses de laboratoire supplémentaires et les commentaires sur le rapport.

En plus, nous remercions mesdames Anne-Marie Carter et Thérèse Drapeau d'Environnement Canada pour les commentaires sur la version préliminaire du rapport.

Nous nous excusons à l'avance auprès des organismes ou personnes que nous aurions oubliés de nommer. Nos remerciements s'adressent aussi à eux.

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Travaux publics et Services gouvernementaux, 2002
Numéro de catalogue : En40-656/2002
ISBN : 0-662-66386-1

Sommaire exécutif

En 1998, Environnement Canada divulguait les résultats des analyses d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et de polychlorodibenzofurannes (PCDF) mesurés entre 1987 et 1997 au Canada. Le rapport montrait que les niveaux moyens de HAP et la valeur 90^{e} centile de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière étaient élevés. Les niveaux élevés de HAP ne surprenaient pas puisque la station est située à proximité d'une aluminerie utilisant la technologie Söderberg à goujons horizontaux mais les valeurs élevées de PCDD et de PCDF étaient surprenantes et ont soulevé beaucoup de questions de la part de la population sur la pollution atmosphérique de la région. Elles ont amené la Direction de la protection de l'environnement région du Québec à examiner les résultats. Lors d'une rencontre avec des intervenants de la région et des représentants de la population, le ministère a indiqué ce qu'il comptait faire pour tenter d'identifier la ou les sources de PCDD et de PCDF. L'examen des données disponibles ayant conclu que la ou les sources étaient locales, Environnement Canada a mis sur pied, à l'été 2000, un projet utilisant des aiguilles de pins comme bioindicateurs pour vérifier s'il y avait plus de PCDD et de PCDF dans l'air de certains secteurs de la ville de Jonquière et voir s'il était possible de les relier à des sources. Des stations témoins ont aussi été installées à Montréal et à Saint-Ignace-de-Loyola, à proximité de Sorel. De plus, la collecte régulière d'échantillons d'air s'est poursuivie à Jonquière et une station a été ajoutée à Chicoutimi.

Les résultats des aiguilles de pins recueillies à la fin août à différents endroits du Québec montrent que les valeurs de PCDD et de PCDF sont plus élevées dans les aiguilles prélevées à Saint-Ignace-de-Loyola, près de Sorel, à Montréal et à la station témoin située en milieu rural près de Jonquière. En décembre, les niveaux augmentent à toutes les stations, sauf à Montréal où ils demeurent semblables à ceux du mois d'août. Ils sont légèrement plus élevés aux stations situées dans la partie sud de Jonquière, incluant celle située en milieu rural. La durée d'exposition des aiguilles à la pollution atmosphérique pourrait être une cause de l'augmentation des niveaux par rapport à ceux mesurés en août mais nous n'avons pas observé d'augmentation qui corroborerait cette hypothèse à la station témoin influencée par le trafic routier à Montréal. Le chauffage résidentiel au bois est probablement une source importante de PCDD et de PCDF à l'atmosphère dans la région de Jonquière. La circulation est aussi une source de PCDD et de PCDF, mais à un niveau moindre qu'à Montréal. Parmi les autres sources, mentionnons le brûlage à ciel ouvert et les activités de certaines industries, dont des ferrailleurs et des recycleurs qui chauffent des fils ou des moteurs électriques pour enlever la gaine de plastique ou le vernis présent sur les fils. À Saint-Ignace-de-Loyola, les industries reliées au secteur de la sidérurgie expliquent en bonne partie les niveaux de PCDD et de PCDF retrouvés dans la région de Sorel.

Les résultats de la campagne de l'été 2000 montrent que les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans les aiguilles de pins recueillies à Jonquière sont semblables à ceux mesurés en milieu urbain aux États-Unis et environ 5 fois plus bas que ceux mesurés près d'usines de préservation de bois des États-Unis. Ils sont jusqu'à 40 fois plus bas qu'en Corée ou au Japon où les PCDD et les PCDF sont présents en grande quantité dans l'air.

Dans l'air ambiant, il n'y a pas de différences significatives dans les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière, Chicoutimi et Montréal et les niveaux sont semblables à ce qui a été trouvé ailleurs au Canada entre 1997 et 1999. Par contre, ils sont environ 10 fois plus faibles que

ceux mesurés à proximité d'un incinérateur de déchets municipaux et d'un récupérateur de fils électriques recouverts de PVC aux États-Unis, 20 fois plus faibles que ceux mesurés au Japon ou 40 fois plus faibles que ceux mesurés en Saxe en Allemagne.

Depuis 1995-1996, les niveaux moyens de PCDD et de PCDF présents dans l'air ont baissé d'environ 50 % à Jonquière et à Montréal et sont 2 à 3 fois plus bas que la ligne directrice annuelle révisée du MENV.

Lorsque nous examinons les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles et dans l'air ambiant, nous constatons que les aiguilles de pins sont capables d'adsorber les PCDD et les PCDF et de servir de bioindicateur. Le rapport entre les teneurs mesurées dans l'air et les aiguilles est relativement constant, peu importe les niveaux présents dans l'air.

Parmi les sources de PCDD et de PCDF, mentionnons le chauffage au bois, le trafic routier, le brûlage de déchets à ciel ouvert (ou *back yard burning*), et certaines installations industrielles. Comme le niveau de contamination de l'air ambiant par les PCDD et les PCDF à Chicoutimi et à Jonquière est semblable à celui de Montréal, qu'il est inférieur au critère du MENV, et que l'échantillonnage régulier se poursuit à Jonquière, nous recommandons de mesurer les émissions des ferrailleurs et des recycleurs qui récupèrent le métal en chauffant les câbles et les moteurs électriques. Une campagne d'éducation sur un meilleur usage de poêles à bois et sur les effets du brûlage de déchets à ciel ouvert dans les cours arrières permettrait aussi de réduire les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans l'air.

Pour ce qui est des HAP et du benzo(a)pyrène ou B(a)P, les niveaux sont semblables à Jonquière et Chicoutimi alors qu'ils sont plus bas à Montréal. Entre 1989-1990 et 2000-2001, nous avons observé une baisse de 96 % pour le B(a)P et 85 % pour les HAP à Jonquière ; à Montréal, les baisses sont de 27 % et 60 % respectivement. À Jonquière, la baisse la plus marquée s'est produite entre 1999-2000 et 2000-2001 alors que la compagnie Alcan a modifié la composition de la pâte anodique des cuves d'électrolyse. À Chicoutimi, les niveaux mesurés entre juillet 2000 et la fin mars 2001 sont semblables à ceux obtenus en 1993-1994 par le MENV.

Les niveaux de PCDD et de PCDF varient un peu en fonction de l'origine des vents mais moins que ceux des HAP qui sont plus élevés lorsque les stations sont sous le vent de l'aluminerie. La plus haute valeur de HAP a d'ailleurs été mesurée à Jonquière alors que la station était sous le vent de l'aluminerie pour 18 des 24 heures de la journée d'échantillonnage.

Introduction

En 1998, la Division de l'analyse et de la qualité de l'air d'Environnement Canada rendait public un rapport sur les niveaux d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychloro-dibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofurannes (PCDF) mesurés entre 1987 et 1997 aux stations du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA) du Canada (Dann, 1998). Ce rapport indiquait que c'est à Jonquière que les niveaux de HAP dans l'air étaient les plus élevés parmi les 35 stations de mesure en opération entre 1994 et 1997. Pour ce qui est des PCDD et des PCDF, une station située à Toronto montrait la valeur moyenne la plus haute au pays, soit 0,105 pg FET/m^3 (picogramme facteur équivalent toxique par mètre cube). Lorsque la valeur 90^e centile[1] était utilisée, la station située à Jonquière montrait la valeur la plus élevée pour la période 1994-1997.

La présence de HAP à des niveaux élevés à Jonquière est connue depuis longtemps (Allaire *et al.*, 1993; Germain et Bisson, 1992) mais la présence de PCDD et PCDF aux niveaux mentionnés par Dann (1998) surprenait. La divulgation de ces résultats a soulevé maintes préoccupations de la part de la population de la région de Jonquière sur la pollution atmosphérique de la région et a amené la Direction de la protection de l'environnement, région du Québec à examiner les résultats en détails. Le 2 février 2000, une rencontre a eu lieu à Jonquière et le rapport de 1998 a été présenté à plusieurs intervenants de la région ainsi qu'à différents représentants de la population. Le personnel d'Environnement Canada a profité de l'occasion pour faire une mise à jour des résultats (jusqu'en septembre 1999), ce qui a permis de diminuer l'inquiétude de la population face aux niveaux de PCDD et de PCDF mesurés dans la région. Suite à cette rencontre, l'ensemble des données disponibles a été examiné en tenant compte de la météorologie (Rousseau, 2000). Nous avons pu constater que la ou les sources de PCDD et de PCDF étaient locales et que les valeurs les plus hautes étaient mesurées lorsque le vent venait du sud. Un résumé des résultats a été diffusé par l'intermédiaire du Conseil régional de l'environnement Saguenay-Lac-Saint-Jean en décembre 2000.

Environnement Canada a développé un projet pour tenter d'identifier la ou les sources de PCDD et de PCDF. À cause de l'étendue de la région et du coût élevé des analyses, il a été décidé d'utiliser des bioindicateurs pour vérifier s'il y avait des différences dans les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à plusieurs endroits de la région. La littérature mentionne que plusieurs bioindicateurs peuvent servir à mesurer les polluants présents dans l'air (Safe *et al.*, 1992; GDG Environnement, 1995; Fiedler *et al.*, 2000; Ok *et al.*, 2000; Viskari, 2000) et que ces derniers ont l'avantage de capter les produits sur des périodes de temps assez longues. Parmi les bioindicateurs considérés, il y a la mousse de sphaigne que nous avions déjà utilisée dans la région de Sorel (Grenon et Lafortune, 1997) et les aiguilles de pins (Myata *et al.*, 2000; Ok *et al.*, 2000). Safe *et al.* (1992) et Viskari (2000) rapportent que la partie cireuse des aiguilles de pins peut servir de bioindicateurs de la déposition de polluants et servir à mesurer les composés organiques lipophiliques présents dans l'air dont les BPC, les pesticides organochlorés comme le DDT ou les PCDD et les PCDF. La collecte d'aiguilles correspondant à la pousse de l'année

[1] Cette valeur s'obtient en classant les valeurs de la plus petite à la plus grande et en choisissant celle qui correspond à la 90^e plus grande si le nombre de valeurs est de 100. Lorsque le nombre de valeurs est différent de 100, la valeur retenu est celle qui représente le multiple de 90 par rapport à 100 (exemple : la 9^e valeur si nous en avons 10, la 900^e si nous en avons 1000)

permet de connaître et de limiter la durée d'exposition. Un programme de mesure utilisant des aiguilles de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) comme bioindicateur a été développé et mis en place pour tenter d'identifier la ou les sources de PCDD et de PCDF.

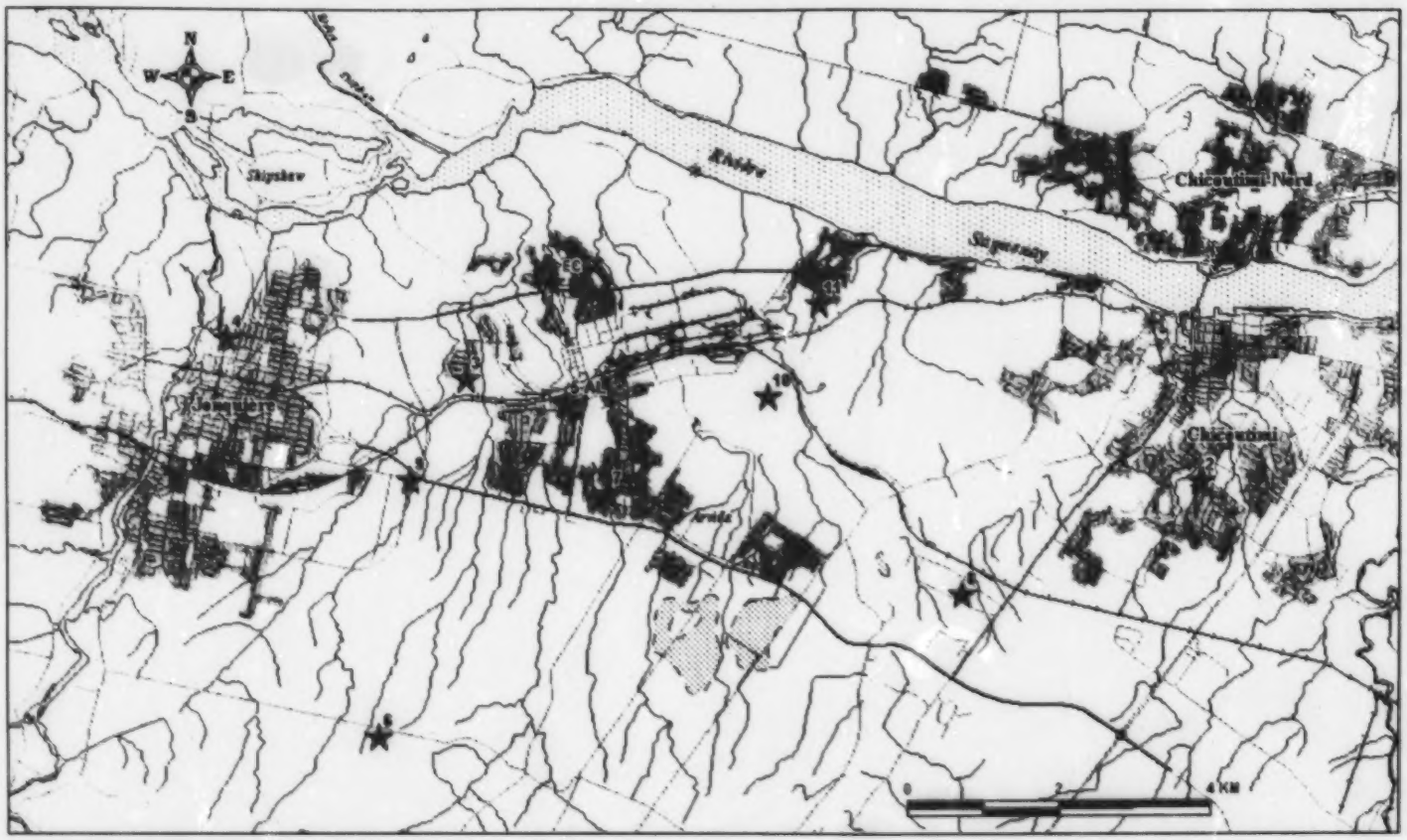
Une station d'échantillonnage d'air « conventionnelle » utilisant un appareil qui pompe l'air à travers un système captant les produits désirés sur une période de temps connue (généralement 24 heures) a aussi été installée à Chicoutimi pour mesurer les niveaux de HAP, de PCDD et de PCDF présents dans l'air ambiant et les comparer à ceux de Jonquière. Le ministère de l'Environnement du Québec (MENV) a permis d'augmenter le nombre d'échantillons d'air en faisant l'analyse des HAP, des PCDD et des PCDF de quelques échantillons à son laboratoire.

Méthodologie

Les 11 et 12 juillet 2000, des pins sylvestres d'environ 125 cm de hauteur ont été plantés à 11 sites de la région pour vérifier s'il y avait des différences dans le niveau de PCDD et de PCDF (figure 1). Ces sites ont été choisis en tenant compte de la direction des vents dominants et des activités urbaines et industrielles présentes dans la région. Des pins ont été plantés à la station utilisée depuis 1989 par Environnement Canada pour faire le suivi de la qualité de l'air (station EC ou station 1), sur les terrains de l'école Dominique-Racine à Chicoutimi (station 2), dans le champ situé à l'arrière de maisons de la rue Dubuisson (station 3), sur les terrains de la papetière Abitibi-Consolidated Ltée (station 4), à la station 5 du réseau de suivi de la qualité de l'air de l'Alcan (station 5), en milieu urbain au parc Poitras (stations 7 et 14), dans le parc industriel de Chicoutimi (station 8), à la bordure du parc industriel de Jonquière (station 9), à la station météorologique située sur les terrains de l'Alcan (station 10), en bordure du quartier Saint-Jean-Eudes (station 11) et enfin, une en milieu rural au sud de Jonquière pour servir de station de référence (station 6). Nous avons aussi planté des pins à deux stations témoins situées à l'extérieur de la région. Ces stations sont situées à Saint-Ignace-de-Loyola (station 12), sous les vents dominants du secteur des usines sidérurgiques de Sorel et à proximité des autoroutes Décarie et Métropolitaine à Montréal (station 13).

Pour connaître le niveau de PCDD et de PCDF présent au départ dans les aiguilles de pins, nous avons coupé les extrémités de deux ou trois branches correspondant aux pousses de l'année de chacun des arbres utilisés. Ces branches étaient ensuite regroupées et gardées au congélateur jusqu'à l'analyse en laboratoire. La mise en commun des branches et leur analyse comme un seul échantillon était justifiée puisque les arbres provenaient tous du même endroit.

Une première série d'aiguilles a été recueillie à la fin août (29-31 août 2000) et une seconde au début décembre (4-5 décembre 2000). Ces périodes ont été retenues pour connaître les niveaux correspondant à l'été alors qu'il n'y a pas de chauffage au bois, et au début de l'hiver, alors que la température a refroidi et que les gens ont commencé à chauffer. À chaque site, les extrémités de 10 et 20 branches correspondant à la pousse de l'année étaient coupées et enveloppées dans du papier d'aluminium nettoyé au préalable à 550 °C, mis dans un sac puis fermé hermétiquement. Les sacs étaient ensuite gardés dans une glacière à 4 °C et envoyés au laboratoire où ils étaient gardés au congélateur jusqu'à l'analyse. En laboratoire, les aiguilles étaient séparées des branches, mises dans un appareil d'extraction aux micro-ondes, puis l'extrait purifié avant d'être analysé par chromatographie en phase gazeuse. L'identification des produits



Environnement Canada Environment Canada

7-12-2001

Figure 1 Localisation des stations de mesure de Jonquière et Chicoutimi

est faite au moyen d'un spectromètre de masse à haute définition. Cette méthode d'extraction a été mise au point pour l'analyse des BPC par le Centre de technologie environnementale d'Environnement Canada (Environnement Canada, 1997). Elle a été reconnue par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (U. S. EPA) et sert de méthode de référence pour l'analyse de matériel biologique. La teneur en humidité des aiguilles a aussi été déterminée pour permettre d'exprimer les résultats sur une base sèche.

Lors de la campagne d'échantillonnage de l'été 2000, une station « conventionnelle » de collecte d'air a été installée sur le toit de l'école Dominique-Racine à Chicoutimi (station 2). Entre août 2000 et la fin de mars 2001, neuf échantillons d'air ont été prélevés aux 28 jours et analysés pour les HAP, les PCDD et les PCDF par Environnement Canada. En plus, trois échantillons supplémentaires ont été recueillis et analysés au laboratoire du MENV. Pendant ce temps, la collecte d'échantillons d'air a continué en parallèle à la station d'Environnement Canada à Jonquière (dates d'échantillonnage fournies à l'annexe 1). Pour vérifier l'évolution temporelle des HAP, des PCDD et des PCDF, nous avons regroupé les résultats selon l'année financière du gouvernement, soit du 1er avril au 31 mars.

Les analyses des échantillons d'air ont été faites selon les méthodes couramment utilisées par les laboratoires ; les contrôle de qualité comprenaient un échantillon témoin de terrain (ou blanc de terrain), l'analyse d'échantillons témoins de laboratoire, pour vérifier la pureté des solvants et la propreté du matériel, et le dopage de chaque échantillon avec une solution d'étalons marqués avec des radio-isotopes pour vérifier l'efficacité de la méthode à récupérer les produits recherchés. Les résultats fournis par les laboratoires ont été corrigés en tenant compte de la récupération de chacun des étalons.

Pour faciliter l'interprétation des résultats, nous avons utilisé les données météorologiques provenant de la station de l'Alcan, station située à Jonquière et certifiée par le Service météorologique du Canada qui l'a intégrée à son réseau d'observation. Au besoin, les résultats de la station météo de l'aéroport de Bagotville ont permis de combler les données manquantes. Nous avons ainsi déterminé les roses des vents des vents pour l'ensemble du projet et pour chaque journée d'échantillonnage d'air. Les directions des vents observées pour les périodes juillet-fin août et juillet-début décembre (voir annexe 2) correspondent à celles généralement observées dans la région.

Résultats

PCDD et PCDF retrouvés dans les aiguilles de pins

Nous avons retrouvé uniquement deux dioxines et aucun furanne dans les aiguilles de pins prélevées avant que les arbres ne soient plantés (témoin début) ; la 1,2,3,7,8-pentachlorodibenzodioxine (ou 1,2,3,7,8-P5CDD) et l'octachlorodibenzodioxine (ou T8CDD). Au total, leurs concentrations s'élevaient à 7,6 pg/g p.s. (poids sec) de PCDD ou 0,8 pg FET/g p.s. lorsque exprimées en facteur d'équivalent toxique (tableau 1).

Les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à la fin de l'été sont près des limites de détection des différents produits et dans la région de Chicoutimi-Jonquière, c'est la station 6 (station témoin)

qui montre le plus haut total avec 129 pg/g p.s. Généralement, les niveaux sont plus faibles dans la région (moyenne globale de 35,9 pg/g p.s.) qu'à Saint-Ignace-de-Loyola (91,7 pg/g p.s.) ou à Montréal (369 pg/g p.s.). Exprimé en FET, les niveaux de PCDD et de PCDF sont plus élevés aux stations de Saint-Ignace-de-Loyola (0,79 pg FET/g p.s.), Montréal (0,68 pg FET/g p.s.) et à la station 8 située dans le parc industriel de Chicoutimi (0,77 pg FET/g p.s.). Les résultats de la région montrent une légère variation selon l'emplacement des stations mais comme les niveaux de PCDD et de PCDF et les FET correspondants sont près des limites de détection il est risqué d'en tirer des conclusions.

Tableau 1 Concentrations totales et équivalent toxique (FET) des PCDD et des PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies à la fin août (poids sec)

Station	PCDD	PCDF	Total PCDD + PCDF	FET	FET corrigé
	pg/g	pg/g	pg/g	pg FET/g	pg FET/g
Station EC (1)	14,0	3,1	17,0	0,28	0,07
Station 2	5,4	1,5	6,9	0,34	0,02
Station 3	3,6	1,2	4,8	0,07	< l.d.
Station 4	16,4	8,2	24,2	0,35	0,20
Station 5	8,8	3,2	12,0	0,13	0,04
Station 6	116,0	13,7	129,7	0,44	0,14
Station 7	14,1	4,0	18,1	0,32	0,07
Station 7 (duplicata)	11,4	6,0	17,4	0,09	< l.d.
Station 7 (moyenne)	12,8	5,0	17,8	0,20	0,03
Station 8	81,9	15,3	97,2	0,77*	0,39*
Station 9	24,6	8,3	32,9	0,49	0,21
Station 10	11,1	3,8	14,9	0,2	0,05
Station 11	33,5	3,5	37,0	0,18	0,03
Moyenne (région)	29,8	6,1	35,9	0,31	0,11
Station 12 (SIL)	71,7	19,9	91,7	0,79	0,52
Station 13 (Montréal)	348,5	20,7	369,2	0,68	0,11
Témoin terrain	7,6	0,0	7,6	0,8	

* : valeurs corrigées pour un taux d'humidité de 57 % : 0,48 pg/m^3 et 0,27 pg FET/m^3

À la station 8, il faut noter que la teneur en humidité des aiguilles était plus haute (79,8 %) qu'aux autres stations (environ 57 %) ; il se pourrait qu'une erreur soit survenue dans une des pesées et que le poids sec de l'échantillon soit supérieur. Si nous supposons que le pourcentage en eau de cet échantillon est de 57 %, le niveau de PCDD et de PCDF baisse alors à 0,27 pg FET/g p.s. En hiver, la teneur en eau des aiguilles de pins de cette station (58,3 %) est semblable à celle des autres stations (57,7 %). La teneur plus élevée en eau (85,8 %) des aiguilles prélevées dans les arbres au moment de la plantation en juillet s'explique par la « jeunesse » des aiguilles. En effet, les jeunes pousses contiennent plus d'eau et sont plus tendres qu'à la fin août ou au début décembre alors qu'elles ont vieillies.

Lorsque nous corrigeons les concentrations FET pour tenir compte des deux produits retrouvés au départ dans les aiguilles, la station de Saint-Ignace-de-Loyola montre la valeur la plus haute, suivie des stations des deux parcs industriels. La valeur FET de la station de Montréal diminue

beaucoup car la majorité du total PCDD/PCDF provient du T8CDD qui a un facteur d'équivalence de 0,001 et du P5CDD, qui a un facteur d'équivalence de 0,5.

Les niveaux de PCDD et de PCDF des aiguilles de pins recueillies au début du mois de décembre ont augmenté à toutes les stations de la région (tableau 2) par rapport à ceux du mois d'août. La station 9 située en bordure du parc industriel de Jonquière montre la plus haute valeur (265 pg/g p.s.), suivie de la station témoin (6) située en milieu rural (205 pg/g p.s.). Ils ont aussi augmenté à Saint-Ignace-de-Loyola (129 pg/g p.s.) mais légèrement diminué à Montréal (52 pg/g p.s.). Le niveau moyen mesuré dans la région (105,4 pg/g p.s.) est plus bas que celui mesuré à Saint-Ignace-de-Loyola mais plus haut qu'à Montréal. Les résultats montrent que les niveaux sont un peu plus élevés dans la partie sud de la région. Lorsque nous exprimons les résultats en FET, les niveaux les plus hauts se retrouvent aux stations des parcs industriels, suivi de ceux obtenus à la station historique d'Environnement Canada et à Saint-Ignace-de-Loyola. La station située en milieu rural montre aussi des niveaux élevés. La correction des résultats pour tenir compte des niveaux de PCDD et de PCDF présents dans les aiguilles au départ conduit aux mêmes conclusions, soit des niveaux plus hauts aux stations des parcs industriels, suivis de la station historique et de Saint-Ignace-de-Loyola.

Tableau 2 Concentrations totales et équivalent toxique (FET) des PCDD et des PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies au début décembre (poids sec)

Station	PCDD	PCDF	Total PCDD/PCDF	FET	FET corrigé
	pg/g	pg/g	pg/g	pg FET/g	pg FET/g
Station EC (1)	60,5	24,0	84,5	1,82	1,38
Station 2	37,3	12,5	49,8	1,26	0,69
Station 3	52,2	19,6	71,8	0,57	0,53
Station 4	42,5	30,0	72,5	1,35	0,86
Station 5	30,5	19,7	50,2	1,09	0,83
Station 6	158,1	46,7	204,8	1,55	1,25
Station 7	88,6	38,8	127,4	0,67	0,61
Station 7 (duplicata)	77,5	39,1	116,6	1,18	0,96
Station 7 (moyenne)	83,1	38,9	122,0	0,92	0,78
Station 8	94,1	56,5	150,6	2,21	1,91
Station 9	222,5	42,1	264,6	2,2	1,55
Station 10	44,7	16,2	60,9	0,85	0,67
Station 11	19,7	8,3	28,0	0,46	0,45
Moyenne (région)	76,8	28,6	105,4	1,29	0,99
Station 12 (SIL)	97,9	31,1	129,0	1,73	1,31
Station 13 (Montréal)	36,7	15,1	51,7	0,76	0,61
Témoin terrain	7,6	0,0	7,6	0,8	

Comparaison avec la littérature

Les niveaux moyens de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies à la fin août et au début décembre 2000 au Québec et dans la région de Jonquière en particulier se comparent à ceux mesurés au Texas (figure 2). Ils sont toutefois inférieurs à ceux mesurés près

d'usines de préservation de bois situées au Texas (5,4 pg FET/g p.s) et au Montana (7,7 pg FET/g p.s. ; Safe *et al.*, 1992) ou encore à ceux mesurés en Corée (milieu urbain influencé par la circulation automobile : 4,5 – 8,2 pg FET/g p.s. ; Ok *et al.*, 2000) ou au Japon (13,6 et 18,3 pg FET/g p.s. ; Myata *et al.*, 2000). Les teneurs de PCDD et de PCDF mesurées dans les aiguilles de pins recueillies au *Kootenai National Park Forest* et au *Glacier-Waterton International Peace Park*, milieux de référence utilisés par Safe *et al.* (1992), atteignent moins de 0,32 et moins de 0,30 pg FET/g p.s. respectivement alors qu'à Cheju, site de référence utilisé par Ok *et al.* (2000), elle est de 0,5 pg FET/g p.s. Les niveaux mesurés par Fiedler *et al.* (2000) dans des aiguilles d'épinettes varient entre 0,31 et 1,12 pg FET/g p.s. en Bavière (Allemagne) et entre 1,2 et 2,67 pg FET/g p.s. à Hesse (Allemagne).

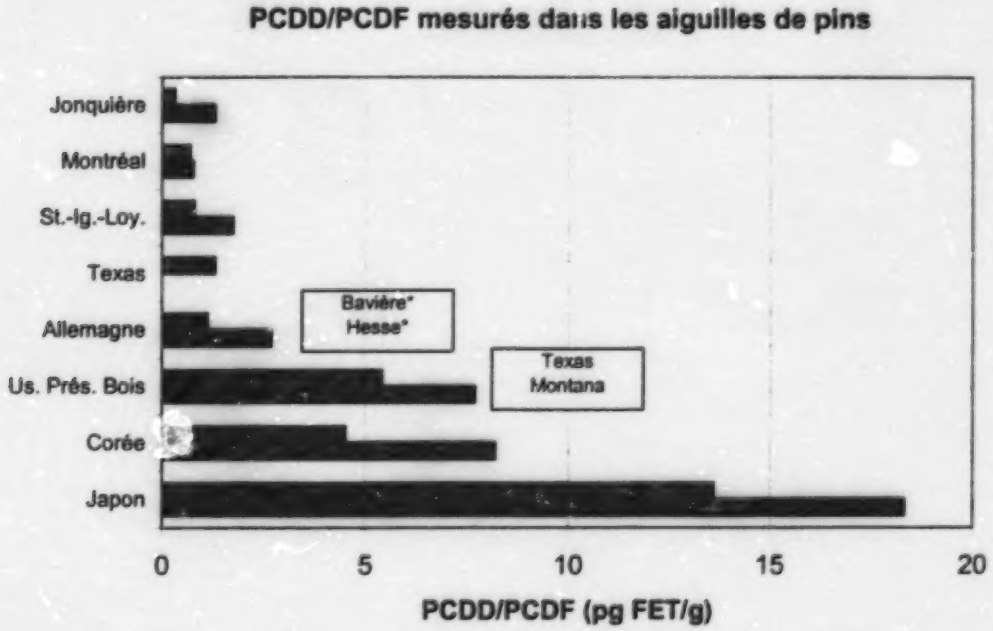


Figure 2 Comparaison des niveaux moyens de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies au Québec à ceux rapportés dans la littérature (*aiguilles d'épinettes)

PCDD et PCDF retrouvés dans l'air ambiant

Le tableau 3 montre les valeurs statistiques des PCDD et des PCDF mesurés entre le 1er juillet 2000 et le 31 mars 2001 à Chicoutimi, Jonquière et Montréal. Bien que les valeurs moyennes, médianes et maximales soient plus élevées à Chicoutimi au cours de cette période, l'analyse statistique ne montre pas de différences significatives ($p < 0,05$) entre les moyennes géométriques et les valeurs médianes des trois stations.

Tableau 3 Résumé statistique des PCDD et des PCDF mesurés entre le 1er juillet 2000 et le 31 mars 2001 dans l'air ambiant de Chicoutimi, Jonquière et Montréal (pg/m^3 et pg FET/m^3)

Endroit et paramètres	Moyenne		Médiane	Maximum
	Arithmétique	Géométrique		
Chicoutimi (n* = 12)				
PCDD (pg/m^3)	2,104	0,924	0,617	12,720
PCDF (pg/m^3)	0,781	0,515	0,599	1,631
PCDD + PCDF (pg/m^3)	2,885	1,517	1,293	14,040
pg FET/m^3	0,039	0,021	0,024	0,102
Jonquière (n = 10)				
PCDD (pg/m^3)	1,302	0,735	0,572	4,110
PCDF (pg/m^3)	0,552	0,283	0,278	1,365
PCDD + PCDF (pg/m^3)	1,854	1,174	1,719	5,016
pg FET/m^3	0,029	0,015	0,019	0,071
Montréal (n = 12)				
PCDD (pg/m^3)	0,962	0,726	0,831	2,058
PCDF (pg/m^3)	0,426	0,355	0,376	1,057
PCDD + PCDF (pg/m^3)	1,388	1,110	1,207	2,912
pg FET/m^3	0,025	0,020	0,023	0,054

* : nombre d'échantillons

La figure 3 montre que les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés au Saguenay et à Montréal se comparent à la moyenne calculée (0,036 pg FET/m^3) pour l'ensemble des stations pour lesquelles il y a eu des mesures faites par Environnement Canada entre 1997 et 1999 (Dann, 2000). Ils sont toutefois inférieurs à ceux obtenus dans le quartier de Rivière-des-Prairies (RDP) de Montréal, quartier influencé par le chauffage au bois (Germain *et al.*, 2001). Ils sont aussi environ deux fois plus faibles que ceux obtenus par Fiedler *et al.* (2000) à Hesse (moyenne de 0,058 pg FET/m^3) en Allemagne et environ 20 fois plus faibles que ceux mesurés par Myata *et al.* (2000) à Hiraka au Japon (moyennes de 0,408 et 0,535 pg FET/m^3). La teneur moyenne la plus élevée retrouvée dans la littérature est de 0,900 pg FET/m^3, rapportée par Fiedler *et al.* (2000) pour la Saxe en Allemagne. En faisant abstraction des unités, il est intéressant de constater que le rapport air/aiguille oscille entre 0,025 et 0,034 pour Jonquière, Montréal, Hiraka (Japon) et Hesse (Allemagne), bien que les niveaux moyens de PCDD et de PCDF soient plus élevés à Hesse (environ 2,5 fois) et à Hiraka (environ 20 fois) qu'à Jonquière et ce, autant pour l'air que pour les aiguilles de conifères. Les données limitées utilisées montrent que le ratio $PCDD_{air}/PCDF_{aiguilles}$ est relativement constant, peut importe le niveau présent dans l'air.

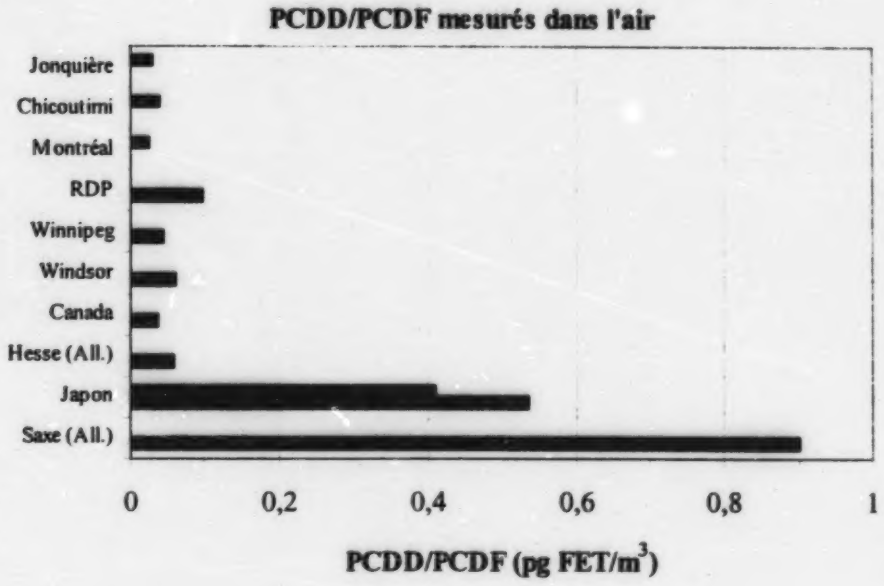


Figure 3 Comparaison des niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Chicoutimi, Jonquière et Montréal à ceux rapportés dans la littérature

HAP et B(a)P retrouvés dans l'air ambiant

Le tableau 4 montre les valeurs statistiques du benzo(a)pyrène ou B(a)P et des HAP totaux mesurés entre le début juillet et la fin mars à Chicoutimi, Jonquière et Montréal. Tout comme pour les PCDD et les PCDF, les concentrations moyennes (géométriques) et médianes ne sont pas significativement différentes entre Chicoutimi et Jonquière mais sont plus basses ($p < 0,05$) à Montréal. Lorsque nous regardons les valeurs journalières, la valeur la plus élevée a été mesurée à Jonquière et cette valeur est environ six fois plus haute que la plus forte valeur obtenue à Chicoutimi. La proximité de l'aluminerie et la direction des vents dominants sont responsables de ces résultats. L'étendue des résultats est aussi plus grande à Jonquière et Chicoutimi qu'à Montréal. Pour faire les comparaisons statistiques, nous avons inclu les résultats de B(a)P mesurés par le MENV mais ne l'avons pas fait pour les HAP totaux car le nombre de produits mesurés par les deux laboratoires était différent.

À Jonquière, les niveaux moyens et maxima de B(a)P et de HAP totaux mesurés entre juillet 2000 et la fin mars 2001 sont plus faibles que ceux mesurés entre 1997 et 1999 (Dann, 2000). Au cours de cette période (1997-1999), Jonquière avait les plus hauts niveaux de B(a)P et de HAP mesurés au pays et ces niveaux s'expliquaient par la proximité d'une usine de production d'aluminium utilisant le procédé Söderberg à goujons horizontaux. Nous ne pouvons comparer les résultats de 2000-2001 de Jonquière à ceux mesurés ailleurs au pays car les données ne sont pas disponibles pour la période juillet 2000 – fin mars 2001 aux autres endroits. À Chicoutimi, les niveaux de B(a)P sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés par le MENV entre juin 1993 et mars 1994 (Bisson, 2001).

Tableau 4 Résumé statistique du B(a)P et des HAP totaux mesurés entre le 1er juillet 2000 et le 31 mars 2001 dans l'air ambiant de Chicoutimi, Jonquière et Montréal (ng/m^3)

Produit et endroit	Moyenne		Médiane	Maximum
	Arithmétique	Géométrique		
B(a)P				
Chicoutimi (n* = 12)	3,7	1,2	1,8	15,2
Jonquière (n = 16)	8,9	0,9	1,6	91,0
Montréal (n = 19)	0,3	0,2	0,2	1,2
HAP				
Chicoutimi (n** = 9)	183,6	103,2	167,1	669,0
Jonquière (n = 16)	508,3	121,1	113,9	3834,3
Montréal (n = 19)	27,9	23,9	22,2	73,8

* : nombre de données, incluant celles du MENV

** : nombre de données, excluant celles du MENV à cause du nombre de produits différents mesurés par les laboratoires

Évolution temporelle des PCDD, des PCDF, des HAP et du B(a)P mesurés dans l'air ambiant

La figure 4 montre l'évolution temporelle des niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière et à Montréal entre 1995 et 2001. Aux deux endroits, la tendance est à la baisse et les niveaux mesurés en 2000-2001 sont environ deux fois plus bas que ceux de 1995-1996. Sauf pour 1996-1997, les niveaux de PCDD et de PCDF sont semblables aux deux endroits. En 1996-1997, l'écart observé entre les deux stations s'explique par les deux valeurs élevées mesurées en novembre et décembre 1996 à Jonquière. Les valeurs moyennes annuelles calculées depuis 1995-1996 sont environ 2 à 3 fois plus faibles que la ligne directrice révisée du MENV, soit de 0,06 pg FET/m^3 ; cette valeur ne doit pas être dépassée sur une base annuelle.

La figure 5 illustre l'évolution annuelle des HAP depuis le début des mesures en 1989-1990. À Jonquière, la valeur moyenne (géométrique) des HAP totaux a augmenté et baissé quelques fois au cours de la période mais globalement, il y a eu une baisse de 85 % entre 1989-1990 et 2000-2001. La baisse la plus marquée entre deux années a été entre 1999-2000 et 2000-2001 alors qu'elle a atteint 60 %. À Montréal, le niveau moyen des HAP totaux varie moins qu'à Jonquière et la baisse observée depuis le début des mesures atteint 60 %. Alors que le niveau moyen mesuré à Jonquière était dix fois plus haut qu'à Montréal en 1989-1990, il est quatre fois plus haut en 2000-2001.

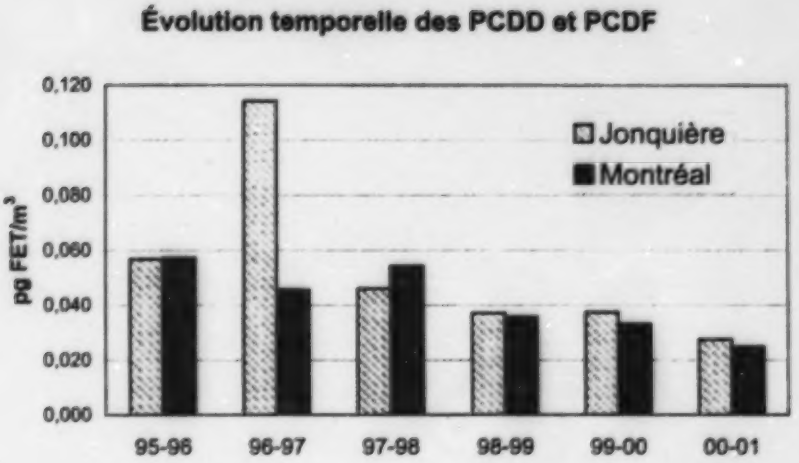


Figure 4 Évolution temporelle des PCDD et des PCDF (exprimés en équivalent toxique) à Jonquière et Montréal

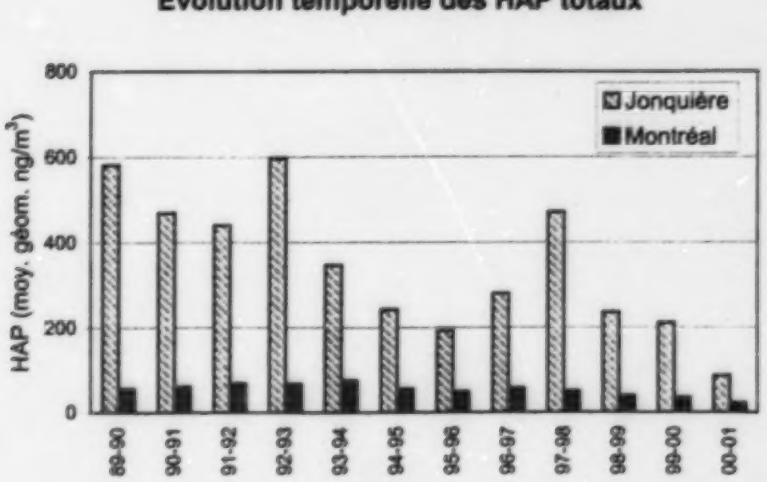


Figure 5 Évolution temporelle des HAP totaux mesurés à Jonquière et Montréal

La figure 6 montre que tout comme pour les HAP totaux, le B(a)P varie au fil des ans à Jonquière et à Montréal et que dans l'ensemble, il diminue entre 1989-1990 et 2000-2001. La baisse de la moyenne géométrique est plus marquée à Jonquière (96 %) qu'à Montréal (27 %).

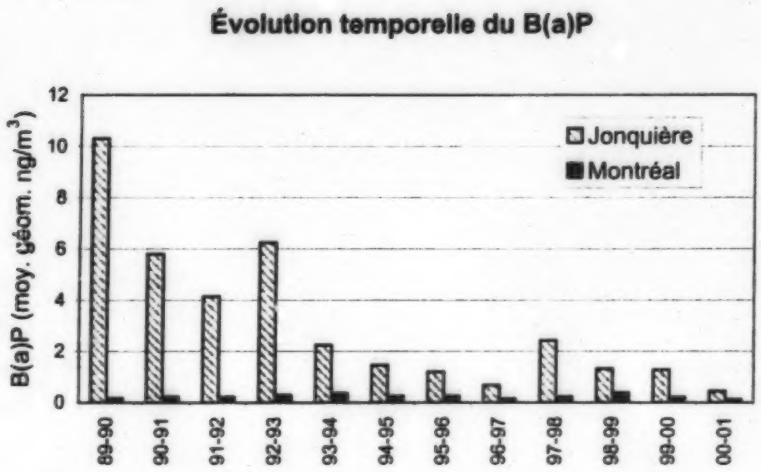


Figure 6 Évolution annuelle du B(a)P mesuré à Jonquière et Montréal

Relation avec les vents

Les PCDD, les PCDF et les HAP [dont le B(a)P] montrent des variations importantes des niveaux mesurés à Jonquière et Chicoutimi, alors qu'elles sont moindres à Montréal. Lorsque nous calculons les statistiques, nous pouvons penser, à première vue, que certains échantillons aient pu être contaminés compte tenu des écarts importants observés; d'ailleurs, certaines valeurs sont identifiées comme valeurs aberrantes par le logiciel statistique utilisé. L'examen des conditions météorologiques, incluant l'origine des vents pour chacune des journées d'échantillonnage, permet toutefois d'expliquer les résultats.

Le tableau 5 montre les concentrations de PCDD, de PCDF et du B(a)P pour les journées où le vent a soufflé surtout d'un secteur lors de l'échantillonnage (sauf pour un cas, les jours où le vent a soufflé de plusieurs secteurs ne sont pas considérés dans ce qui suit). Lorsque le vent soufflait de l'ouest, soit de Jonquière vers Chicoutimi, nous avons un premier bloc avec des valeurs de PCDD, de PCDF et B(a)P élevés et un second avec des niveaux plus faibles. Lorsque le vent soufflait de l'est, soit de Chicoutimi vers Jonquière, des échantillons de PCDD et de PCDF ont été pris simultanément aux deux endroits en une seule occasion. Parce qu'il n'y avait qu'une seule paire de résultats, nous avons choisi d'inclure une autre paire de résultats alors que le vent avait aussi une composante nord importante. Il faut aussi se rappeler que l'échantillonnage d'air ambiant était plus fréquent à Jonquière qu'à Chicoutimi et qu'en certaines occasions, des échantillons étaient pris à Jonquière mais pas à Chicoutimi alors que le vent provenait de l'est. Dans un précédent rapport, Rousseau (2000) indiquait que les plus hautes valeurs de PCDD et de PCDF étaient observées lorsque le vent soufflait du sud. Malheureusement, nous n'avons pas d'échantillon prélevé lorsque le vent provenait principalement de cette zone entre juillet 2000 et la fin mars 2001.

Dans le premier bloc, les valeurs de PCDD et de PCDF sont assez élevées à Chicoutimi où elles varient entre 0,073 et 0,102 pg FET/m^3 alors qu'à Jonquière, il y a deux jours avec des valeurs plus élevées et deux avec des valeurs plus faibles. Aussi, il y a une journée où les niveaux de

PCDD et de PCDF sont plutôt semblables à Jonquière et à Chicoutimi. Du coté du B(a)P, les niveaux sont généralement plus hauts à Chicoutimi. Pour le bloc des faibles valeurs, les PCDD et les PCDF diminuent en allant vers Chicoutimi dans un cas et sont semblables dans l'autre ; le B(a)P augmente dans les deux cas. Le rapport des concentrations observées aux deux endroits montre que le B(a)P augmente plus à Chicoutimi que les PCDD et les PCDF lorsque le vent souffle vers l'ouest. Lorsque le vent provient de l'est, les niveaux de PCDD et de PCDF sont plus hauts à Jonquière, tout comme le B(a)P. C'est justement lorsque le vent soufflait surtout de l'est et que la station était sous le vent de l'aluminerie 18 heures sur les 24 heures qu'a duré l'échantillonnage que nous avons mesuré les plus hautes valeurs de B(a)P à Jonquière. Les HAP n'ont pas été montrés au tableau 5 mais ils se comportent comme le B(a)P.

Tableau 5 Niveaux de PCDD, de PCDF et B(a)P mesurés lors des journées où le vent a soufflé surtout d'un secteur

Date et origine du vent	Jonquière	Chicoutimi	Jonquière	Chicoutimi	Rapport Chicoutimi/Jonquière	
	PCDD+PCDF	PCDD+PCDF	B(a)P	B(a)P	PCDD+PCDF	B(a)P
	pg FET/m^3	pg FET/m^3	Ng/m^3	ng/m^3		
Vent de l'ouest						
1er bloc						
8 décembre	0,071	0,073	1,5	4,8	1,0	3,2
6 février	0,017	0,098	3,4	2,8	5,6	0,7
25 février	0,049	0,079	1,7	15,2	1,6	10,6
26 mars	0,001	0,102	0,02	5,4	146	270
2^{e} bloc						
3 septembre	0,014	0,008	0,02	1,8	0,6	90
1er janvier	0,002	0,002	0,06	0,36	1,3	6
Vent de l'est						
14 novembre	0,057	0,002	91	0,02	0,03	0,002
*2 mars**	0,051	0,034	2,9	11,0	0,6	3,8

* : Composantes nord et nord-est importantes

La vitesse du vent influence aussi les niveaux. Ainsi, le premier janvier 2000, les niveaux de PCDD, de PCDF et de B(a)P sont faibles aux deux endroits alors que la vitesse moyenne du vent était de 23,6 km/h. Rousseau (2000) avait montré que les niveaux de PCDD, de PCDF et de HAP étaient inversement proportionnels à la vitesse du vent à Jonquière.

Discussion

Nous savons que les camions diesel sont responsables de 5 % des émissions canadiennes de PCDD et de PCDF à l'atmosphère et les résultats obtenus près de l'autoroute Métropolitaine à Montréal tendent à prouver l'impact de la circulation puisque les niveaux y sont élevés. Nous savons qu'il n'y a pas de chauffage au bois ou d'industries reconnues pour émettre des PCDD et des PCDF à proximité de cette station ; de plus les niveaux exprimés en FET n'ont pas augmenté entre la fin de l'été et le début de l'hiver. La circulation routière peut être une source de PCDD et de PCDF aux stations 8 (Chicoutimi) et 9 (Jonquière), mais son impact n'est pas aussi important qu'à la station de Montréal puisque le volume de circulation y est plus faible.

Le chauffage au bois, populaire dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, est sûrement une des sources à considérer. En effet, nous savons qu'il est une source de PCDD et de PCDF comme le démontrent les résultats obtenus dans les quartiers plus résidentiels de Jonquière où les niveaux augmentent entre la fin août et le début de décembre. Bremmer *et al.* (1994) indiquent que les rejets de PCDD et de PCDF d'un poêle à bois peuvent augmenter de 5 à 25 fois si du bois contaminé (peint, traité ou autre) est brûlé plutôt que du bois sec destiné au chauffage au bois. Launhardt *et al.* (1998) mentionnent aussi que la combustion de bois peint ou d'un mélange de bois et plastique génèrent jusqu'à 40 fois plus de PCDD et de PCDF que le bois sec et destiné à être brûlé. Ils rapportent aussi que la combustion de papier et de carton émet 2 à 20 fois plus de PCDD et de PCDF. Les cendres contiennent aussi beaucoup plus de contaminants lorsque des déchets ou du bois traité ou peint sont brûlés. La combustion résidentielle de bois représente 2 % du total des émissions canadiennes de PCDD et de PCDF.

La présence de ferrailleurs (ou entreprises de recyclage de métaux) dans le parc industriel de Jonquière pourrait expliquer en partie les valeurs de PCDD et de PCDF plus élevées observées dans la partie sud de Jonquière. Bremmer *et al.* (1994) rapportent que le chauffage ou la combustion de rebuts de câbles électriques pour se débarrasser de la gaine de plastique émet environ 40 µg FET de PCDD et de PCDF par tonne (µg FET/t) de câbles lorsqu'elle est faite dans des équipements appropriés. Ils estiment que cette pratique faite de façon illégale dans des installations de fortune en émet 500 µg FET/t, parfois plus. Tiernan *et al.* (1989) ont mesuré les PCDD et les PCDF à plusieurs endroits à Dayton (Ohio), dont un situé à environ 300 m d'un incinérateur de déchets domestiques (capacité de 150 000 tonnes/an) et à moins d'un kilomètre d'une usine qui enlevait le PVC recouvrant les métaux par pyrolyse dans un four. Lorsqu'il n'y avait que l'incinérateur en fonction, ils mesuraient une moyenne de 3,36 pg/m^3 de PCDD et de PCDF alors qu'elle montait à 16,12 pg/m^3 lorsque le four de pyrolyse était en marche. La capacité du four de cette usine était de 182 kg par période de 9 heures. Trois ferrailleurs de Jonquière ont déjà été condamnés pour avoir brûlé des rebuts de câbles dans des installations « maison » alors qu'un autre possède un certificat d'autorisation du MENV pour une installation conforme destinée à la refonte des métaux (Labrecque, 2001).

À Jonquière, une entreprise qui répare des moteurs électriques chauffe les moteurs dans des fours pour brûler et cuire le vernis présent sur les fils. Ces fours ont été installés sans autorisation du MENV. Ce dernier a exigé que l'entreprise réalise une caractérisation de ses émissions et qu'elle fasse la demande d'un certificat d'autorisation pour continuer ses activités (Labrecque, 2001). Le chauffage de moteur dans un four pour récupérer le métal s'apparente à brûler des fils électriques et Bremmer *et al.* (1994) l'identifient comme une source de PCDD et de PCDF à l'air. Les installations de cette entreprise se trouvent au sud de la station utilisée depuis 1989 par Environnement Canada. En décembre, les PCDD et les PCDF étaient semblables dans les aiguilles des pins plantés aux stations 3 et 5, situées de part et d'autre des installations de ce recycleur (en tenant compte des vents dominants) ; par contre, il y en avait plus à la station 5, plus proche des installations du recycleur de moteurs lorsqu'ils étaient exprimés en FET. En août, les niveaux étaient trop proches des limites de détection pour tirer des conclusions. Rappelons que les vents provenaient du sud lorsque nous avons mesuré deux valeurs élevées en 1996 mais que nous n'avons pas pris d'échantillons lorsque le vent provenait de ce secteur lors de la campagne de 2001.

Germain *et al.* (2000) ont montré que la station de Saint-Ignace-de-Loyola, située sous les vents dominants des usines sidérurgiques de Sorel, était influencée par ces usines situées à environ 3,5 km. Nous savons que les fours à arc électriques utilisés dans la production d'acier émettent dans l'air environ 7 % du total canadien de PCDD et de PCDF (Environnement Canada, 2001). Les niveaux retrouvés dans les aiguilles de pins à Saint-Ignace-de-Loyola semblent montrer un impact des activités industrielles de Sorel sur l'air de cette région. Les fours à arcs électriques sont la principale source de PCDD et de PCDF des usines sidérurgiques.

La teneur élevée mesurée en milieu rural en été peut surprendre à première vue, mais le brûlage de déchets dans des barils ou brûlage à ciel ouvert est une source importante d'émissions de PCDD et de PCDF à l'atmosphère. Lemieux *et al.* (2000), du U. S. EPA, mentionnent que le brûlage de déchets dans des barils de 220 litres (ou 45 gallons) rejette entre 6 et 264 µg de PCDD et de PCDF par kg de déchet, ce qui est beaucoup plus que les 0,0035 µg/kg émis par un incinérateur de déchets municipaux d'une capacité de 180 000 kg de déchets par jour. Ils estiment qu'entre 40 % et 50 % des gens qui vivent en milieu rural en Illinois agissent ainsi et que brûler des déchets dans 2 à 40 barils émet autant de PCDD et de PCDF dans une journée que ne le fait un incinérateur municipal qui en brûle 180 000 kg. Les Américains estiment que le brûlage de déchets dans des barils, qu'ils appellent « *backyard burning* » rejette près de 30 % de tous les PCDD et les PCDF émis à l'atmosphère dans une année. En Suisse, le Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication (DETEC, 2000) estime que le brûlage illégal d'ordures ménagères représente 1 à 2 % des déchets incinérés et que ce brûlage émet plus du double de toutes les émissions des usines d'incinération de déchets ménagers et déchets spéciaux réunies. Ces observations ont amené Environnement Canada à inclure cette source dans l'inventaire canadien ; elle représente un peu plus de 10 % de tous les rejets de PCDD et de PCDF à l'atmosphère (Environnement Canada, 2001).

À Jonquière et Chicoutimi, l'augmentation des PCDD et des PCDF observée dans les aiguilles de pins de l'été au début de l'hiver pourrait s'expliquer en partie par l'exposition plus longue (145 jours vs 50 jours), mais surtout par l'apport de sources comme le chauffage au bois, le brûlage à ciel ouvert ou « *backyard burning* », le transport routier et possiblement par certaines sources industrielles dont les ferrailleurs et recycleurs. Dans la municipalité de Jonquière, le Service des incendies de Jonquière émet moins de 20 permis par année pour permettre le brûlage de déchets dans des barils mais il y a des gens qui le font sans demander de permis (Laplante, 2001). Lorsque nous examinons les résultats en fonction de la direction des vents dominants, nous constatons que les résultats de PCDD et de PCDF dans les aiguilles de pins semblent un peu plus élevés dans la partie sud de la région de Jonquière.

Conclusion

En août, il y a plus de PCDD et de PCDF dans les aiguilles prélevées à Saint-Ignace-de-Loyola, à Montréal et à la station témoin située en milieu rural. En décembre, les niveaux augmentent à toutes les stations, sauf à Montréal où ils demeurent semblables à ceux du mois d'août. La durée d'exposition des aiguilles à la pollution atmosphérique pourrait être une cause de l'augmentation des niveaux par rapport à ceux mesurés en août mais nous n'avons pas observé d'augmentation à la station témoin située à Montréal, station influencée par le trafic routier. Au Saguenay, la circulation est une source probable de PCDD et de PCDF, mais à un niveau moindre qu'à

Montréal. Le chauffage résidentiel au bois est probablement une source d'émissions importante de PCDD et de PCDF à l'atmosphère dans la région de Jonquière. Le brûlage de déchets à ciel ouvert et certaines industries, dont les ferrailleurs et les recycleurs qui se débarrassent des gaines de plastique entourant les fils ou le vernis qui entoure les fils des moteurs électriques peuvent aussi en émettre lors de processus impliquant la combustion. Nous savons que trois ferrailleurs ont déjà été condamnés pour avoir brûlé illégalement des câbles ou fils électriques pour récupérer le métal ; un autre le fait légalement et un recycleur de moteurs électriques a demandé un certificat d'autorisation auprès du MENV (Labrecque, 2001). Les niveaux de PCDD et de PCDF ne sont pas plus élevés dans les aiguilles prélevées chez des pins plantés de part et d'autre de ses installations mais le sont à la station la plus proche lorsqu'ils sont exprimés en FET ou équivalent toxique. À Saint-Ignace-de-Loyola, les industries reliées au secteur de la sidérurgie expliquent en bonne partie les niveaux de PCDD et de PCDF retrouvés dans la région de Sorel.

Dans ce projet, les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans les aiguilles de pins sont semblables à ceux mesurés en milieu urbain aux États-Unis et environ 5 fois plus bas que ceux mesurés près d'usines de préservation de bois des États-Unis. Ils sont jusqu'à 40 fois plus faibles qu'en Corée ou au Japon où les PCDD et les PCDF sont présents en grande quantité dans l'air.

Dans l'air ambiant, il n'y a pas de différences significatives dans les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière, Chicoutimi et Montréal et les niveaux sont semblables à ce que nous avons trouvé ailleurs au Canada entre 1997 et 1999. Par contre, ils sont environ 10 fois plus faibles que ceux mesurés à proximité d'un incinérateur de déchets municipaux et d'un récupérateur de fils électriques recouverts de PVC aux États-Unis, 20 fois plus faibles que ceux mesurés au Japon ou 40 fois plus faibles que ceux mesurés en Saxe (Allemagne).

Bien que les niveaux de PCDD et de PCDF varient un peu en fonction de l'origine des vents, ils ne montrent pas de tendance significative puisque nous avons mesuré des valeurs élevées et faibles pour un même secteur d'origine. Depuis 1995-1996, les niveaux moyens ont baissé d'environ 50 % à Jonquière et à Montréal et sont 2 à 3 fois plus bas que la ligne directrice annuelle révisée du MENV.

Lorsque nous examinons les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles et dans l'air ambiant, nous constatons que les aiguilles de pins sont capables d'adsorber les PCDD et les PCDF et de servir de bioindicateur. Le rapport entre les teneurs mesurées dans l'air et les aiguilles est relativement constant, peu importe le niveau présent dans l'air.

Pour ce qui est des HAP et du B(a)P, les niveaux sont semblables à Jonquière et Chicoutimi alors qu'ils sont plus bas à Montréal. À Jonquière, les valeurs mesurées entre juillet 2000 et mars 2001 sont plus basses que celles rapportées par Dann en 1998 et depuis 1989, la tendance est à la baisse pour les HAP et le B(a)P, soit de 96 % pour le B(a)P et 85 % pour les HAP dans l'air ambiant à Jonquière ; à Montréal, les baisses atteignent 27 % et 60 % respectivement. À Jonquière, la diminution la plus marquée s'est produite entre 1999-2000 et 2000-2001, alors que la compagnie Alcan a modifié la composition de la pâte anodique des cuves d'électrolyse. À Chicoutimi, les niveaux mesurés entre juillet 2000 et la fin mars 2001 sont semblables à ceux obtenus en 1993-1994 par le MENV. Contrairement aux PCDD et aux PCDF, les HAP varient beaucoup en fonction de l'origine des vents puisque les valeurs les fortes sont mesurées lorsque

les stations sont sous le vent de l'aluminerie. La plus haute valeur a d'ailleurs été mesurée à Jonquière alors que la station était sous le vent de l'aluminerie pour presque toute la journée d'échantillonnage.

Recommandations

Parmi les sources de PCDD et de PCDF soupçonnées à Jonquière, mentionnons le chauffage au bois, le brûlage de déchets à ciel ouvert (ou « *back yard burning* »), le trafic routier et certaines installations industrielles. Comme les niveaux à Chicoutimi et à Jonquière sont similaires à ceux de Montréal, qu'ils sont inférieurs au critère du MENV et que l'échantillonnage régulier se poursuit à Jonquière, nous recommandons plutôt de mesurer les émissions des ferrailleurs et des recycleurs qui récupèrent le métal en chauffant les câbles et les moteurs électriques. Une campagne d'éducation pour un meilleur usage de poêles à bois et sur les effets du brûlage de déchets à ciel ouvert permettrait aussi de réduire les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans l'air.

Références :

Allaire, M., M. Barber, R.S. Friar et R. Roussel (1993). Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) at a Point Source of Emissions. Part B : PAH Emissions Reduction at a Horinzontal Stud Soderberg Plant at Jonquiere, Quebec, Canada and the Evolution of B[a]P in Ambient Urban Air. *J. Air Waste. Manege. Assoc.* 43 :85-90

Bisson, M. (2001). Niveaux de B(a)P mesurés par le MENV entre juin 1993 et mars 1994. Ministère de l'Environnement du Québec. Communication personnelle à A. Germain

Bremmer, H.J., L.M. Troost, G. Kuipers, J. DeKoning et A.A. Sein (1994). *Emissions of dioxins in The Netherlands*. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven and Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), Apeldoorn. Report No. 770501018.

Dann, T. (2000). Valeurs statistiques de PCDD/PCDF pour 13 stations de surveillance au Canada. Environnement Canada. Communication personnelle à A. Germain

Dann, T. (1998). Mesure des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et des polychlorodibenzofurannes (PCDF) dans l'air ambiant du Canada (1987-1997). Environnement Canada, Centre de technologie environnementale, Division de l'analyse et de la qualité de l'air, Rapport DAQA 98-3, Ottawa (Ont), 48 p.

DETEC (Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication; 2000). Communiqué de presse *Pollution indigène de dioxine par l'incinération sauvage des déchets.* Site internet accédé le 16 février 2000 http://www.evek.admin.ch/doku/presse/f/99092101.htm

Environnement Canada (2001). Inventaire des rejets de Dibenzo-*p*-dioxines polychlorées substituées aux positions 2,3,7,8 (PCDDs) et Dibenzofurannes polychlorées substituées aux positions 2,3,7,8 (PCDFs) "Mise à jour". Environnement Canada et le Groupe de travail fédéral/provincial sur les dioxines et furannes pour le Comité consultatif fédéral-provincial sur la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, Hull (Qc) 41 p.

Environment Canada (1997). PCB Reference Method EPS 1/RM/31, March, 1997.

Fiedler, H., H. Rottler, L. Peichl, G. Knetsch et A. Basler (2000). Concentrations of PCDD/PCDF in Atmospheric Samples in Germany *in* Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Montery, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 45 : 364-268

GDG Environnement (1995). Inventaire des bio-indicateurs atmosphériques utilisables au Québec Tome 1. Rapport présenté à Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, région du Québec. 70 p + annexes

Germain, A., P. Beaudoin et B. Lafortune (2000). Qualité de l'air observée dans la région de Sorel en 1995. Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, Région du Québec, Enjeux atmosphériques, Montréal (Qc) 9 p.

Germain, A., M. Benjamin et C. Gagnon (2001). Impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air d'un quartier résidentiel de Montréal *in* Americana 2001, Sommaire exécutif des conférences. Des solutions pour un monde en changement. Salon des technologies environnementales, Réseau Environnement, Montréal, mars 2000, pp 247-248

Germain, A. et M. Bisson (1992). Mesure d'hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant au Québec (Canada) *in* Compte Rendu 5^{e} Colloque sur les substances toxiques tenu à Montréal les 1er et 2 avril 1992 pp 47-57

Grenon, S. et B. Lafortune (1997). Moss Bags Technique as a Reliable Atmospheric Monitoring Tool : Conparison with PM10-2.5 Analyzer Poster PHA 134 présenté à SETAC 18th Annual Meeting, Bridging the Global Environment : Technology, Communication, and Education. 16-20 Novembre 1997, San Francisco, CA

Labrecque, D. (2001). Ferrailleurs et recycleurs de moteurs électriques. Ministère de l'Environnement du Québec. Communication personnelle à A. Germain

Lapointe, N. (2001). Émissions de permis pour le brûlage de déchets domestiques dans des barils à Jonquière. Service des incendies de Jonquière. Communication personnelle à A. Germain

Launhardt, L., A. Strehler, R. Dumler-Gradl, H. Thoma et O. Vierle (1998) PCDD/F- and PAH-Emission from House Heating Systems. *Chemos.* 37 : 2013-2020

McLachlan,M.S., A. Reischl et M. Reissinger (1989). Monitoring of Organic Air Pollutants using Terrestrial Plants *in* Man and his Ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989 Brasser, L.J. et W.C. Mulder (eds) Delft (The Netherlands) 87-93

Miyata, H., S. Takamitsu, N. Iwata, T. Nakao, O. Aozasa, S. Ohta (2000). Investigation of Assessment of Air Pollution by Dioxin Analogues using Japanese Black Pine Needle as an Indicator *in* Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Montery, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 46 : 373-376

Ok, G., S.H. Hi, S.J. Kim, H.B. Moon, Y.K. Kim, Y.S. Kim et Y.SH. Han (2000). Monitoring of Air Pollution by Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans in Korea Using Pine Needles *in* Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Montery, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 46 : 419-422

Rousseau, J. (2000). Identification des sources potentielles des polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et des polychlorodibenzofurannes (PCDF) à l'atmosphère mesurées dans la région de Jonquière entre 1991 et 1999. Document de travail. Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, région du Québec, Enjeux atmosphériques, Montréal (Québec), 62 p. + annexes

Safe,S.; K.W. Brown, K.C. Donnelly, C.S. Anderson, K.V. Markiewicz, M. S. McLachlan, A. Reischl et O. Hutzinger (1992). Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans Associated with Wood-Preserving Chemical Sites : Biomonitoring with Pine Needles. *Environm. Sci. Technol.* 26 :394-396

Tiernan, T.O., D.J. Wagel, G.F. Vanness, J.H. Garrett, J.G. Solch et L.A. Harden (1989). PCDD/PCDF in the Ambient Air of Metropolitan Area in the U.S. *Chemos.* 19 : 541- 546

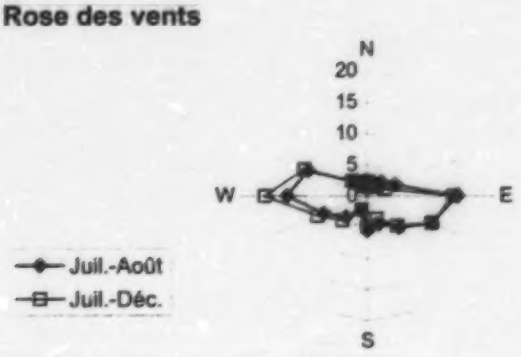
Viskari, Eeva-Liisa (2000). Epicuticular Wax of Norway Spruce Needles as Indicator of Traffic Pollutant Deposition *Water, Air and Soil Pollution* 121 :327-337

Annexe 1 Date d'échantillonage des HAP, des PCDD et des PCDF à Jonquière, Chicoutimi et Montréal

	Jonquière		Chicoutimi		Montréal	
	PCDD/PCDF	HAP	PCDD/PCDF	HAP	PCDD/PCDF	HAP
05-juil-00		X				
17-juil-00						
29-juil-00		X				X
10-août-00	X	X	X[2]	X[2]	X	X
22-août-00						X
03-sept-00	X	X	X	X	X	X
15-sept-00						
27-sept-00			X	X		
09-oct-00		X				X
21-oct-00			X[3]	X[3]		
27-oct-00			X	X		
02-nov-00		X				X
14-nov-00	X	X	X	X		X
26-nov-00		X				X
08-déc-00	X	X	X	X	X	X
20-déc-00		X			X	X
26-déc-01						X
01-janv-01	X	X	X	X	X	X
13-janv-01		X			X	X
25-janv-01	X	X	X	X	X	X
06-févr-01	X	X	Y[4]	Y	X	X
18-févr-01	X[1]	X[1]	X	X		X
02-mars-01	X	X	Y	Y	X	X
14-mars-01	X	X	X	X	X	X
26-mars-01	X	X	Y	Y	X	X

1 : blanc de terrain
2 : résultats non-disponibles, problèmes lors du transport vers le laboratoire
3 : échantillon perdu à cause de vandalisme à la station, repris le 27 octobre
4 : Y : échantillons analysés par le MENV

Annexe 2 Rose des vents observées à Jonquière pour les périodes « Juillet-Fin août » et « Juillet-décembre »



Annexe 3 Récupération moyenne des produits marqués avec des radio-isotopes lors de l'analyse des échantillons d'aiguilles de pins

Produit marqué	Août		Décembre	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
$^{13}C_{12}$-TCDD	74,2	7,6	63,2	8,0
$^{13}C_{12}$-TCDF	72,9	13,2	65,4	8,7
$^{13}C_{12}$-P5CDD	65,1	8,3	56,9	16,8
$^{13}C_{12}$-P5CDF	69,3	5,9	61,4	9,4
$^{13}C_{12}$-H6CDD	66,8	5,7	61,3	10,1
$^{13}C_{12}$-H6CDF	74,4	7,9	65,9	7,6
$^{13}C_{12}$-H7CDD	66,1	13,5	65,1	10,6
$^{13}C_{12}$-H7CDF	63,6	7,7	65,3	8,3
$^{13}C_{12}$-OCDD	49,2	9,5	59,6	8,3

Annexe 4 Récupération moyenne des produits marqués avec des radio-isotopes lors de l'analyse des échantillons d'air

Produit marqué	Jonquière	Chicoutimi
$^{13}C_{12}$-TCDD	79,3	76,7
$^{13}C_{12}$-TCDF	86,3	79,3
$^{13}C_{12}$-P5CDD	80,1	76,2
$^{13}C_{12}$-P5CDF	79,1	75,7
$^{13}C_{12}$-H6CDD	84,1	76,9
$^{13}C_{12}$-H6CDF	86,9	80,3
$^{13}C_{12}$-H7CDD	77,2	71,7
$^{13}C_{12}$-H7CDF	79,0	73,3
$^{13}C_{12}$-OCDD	70,3	65,7

Annexe 5 Pourcentage d'humidité dans les aiguilles de pins

Station	Automne	Hiver
	Pourcent (%)	Pourcent (%)
Station EC (1)	56,9	59,1
Station 2	55,5	55,9
Station 3	56,5	59,7
Station 4	54,9	58,0
Station 5	53,1	56,9
Station 6	57,9	57,2
Station 7	58,8	58,3
Station 7 (duplicata)	55,5	56,4
Station 7 (moyenne)	57,2	57,4
Station 8	79,8	58,3
Station 9	57,0	58,4
Station 10	59,0	56,5
Station 11	58,5	57,7
Moyenne (région)	58,8	57,7
Station 12 (SIL)	59,8	55,1
Station 13 (Montréal)	63,1	65,0
Témoin terrain	85,8	85,8

Annexe 6 Concentrations moyennes des PCDD/PCDF mesurées dans l'air de Jonquière, Chicoutimi et Montréal (pg/m^3)

	Chicoutimi				Jonquière				Montréal			
Congénère	moyenne	écart type	médiane	maximum	moyenne	écart type	médiane	maximum	moyenne	écart type	médiane	maximum
2378-TCDD	0,003	0,002	0,002	0,007	0,002	0,001	0,001	0,004	0,002	0,001	0,002	0,005
12378-P5CDD	0,013	0,013	0,006	0,040	0,008	0,008	0,006	0,026	0,010	0,006	0,009	0,019
123478-H6CDD	0,016	0,018	0,006	0,049	0,009	0,010	0,004	0,031	0,008	0,007	0,007	0,018
123678-H6CDD	0,031	0,047	0,012	0,170	0,014	0,017	0,005	0,053	0,014	0,011	0,013	0,030
123789-H6CDD	0,044	0,067	0,014	0,230	0,027	0,030	0,018	0,095	0,021	0,018	0,019	0,053
1234678-H7CDD	0,285	0,414	0,099	1,500	0,199	0,236	0,084	0,649	0,150	0,100	0,114	0,320
OCDD	0,869	1,472	0,363	5,400	0,547	0,646	0,213	1,931	0,426	0,278	0,370	0,862
2378-TCDF	0,062	0,044	0,044	0,140	0,050	0,064	0,019	0,210	0,030	0,018	0,026	0,076
12378-P5CDF	0,010	0,009	0,006	0,024	0,007	0,006	0,004	0,015	0,005	0,004	0,005	0,011
23478-P5CDF	0,015	0,013	0,012	0,039	0,013	0,013	0,006	0,035	0,009	0,006	0,008	0,019
123478-H6CDF	0,039	0,034	0,025	0,097	0,028	0,028	0,017	0,068	0,019	0,012	0,017	0,043
123678-H6CDF	0,015	0,014	0,009	0,045	0,011	0,010	0,007	0,027	0,007	0,004	0,007	0,015
234678-H6CDF	0,020	0,019	0,015	0,061	0,013	0,014	0,009	0,037	0,010	0,008	0,009	0,027
123789-H6CDF	0,004	0,005	0,002	0,016	0,002	0,001	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,004
1234678-H7CDF	0,065	0,057	0,047	0,190	0,052	0,042	0,039	0,118	0,041	0,023	0,036	0,080
1234789-H7CDF	0,008	0,009	0,004	0,029	0,007	0,006	0,004	0,020	0,005	0,004	0,003	0,014
OCDF	0,112	0,146	0,058	0,510	0,059	0,057	0,031	0,191	0,043	0,026	0,042	0,083
Total TCDD	0,045	0,046	0,026	0,140	0,037	0,048	0,011	0,124	0,022	0,029	0,010	0,086
Total P5CDD	0,125	0,146	0,053	0,400	0,071	0,100	0,024	0,314	0,063	0,066	0,038	0,182
Total H6CDD	0,427	0,693	0,125	2,400	0,210	0,253	0,111	0,812	0,152	0,137	0,141	0,378
Total H7CDD	0,687	1,247	0,180	4,500	0,439	0,547	0,163	1,489	0,300	0,202	0,237	0,593
OCDD	0,869	1,472	0,363	5,400	0,547	0,646	0,213	1,931	0,426	0,278	0,370	0,862
Total PCDD	**2,104**	**3,501**	**0,617**	**12,720**	**1,302**	**1,455**	**0,572**	**4,110**	**0,962**	**0,685**	**0,831**	**2,058**
Total TCDF	0,265	0,205	0,185	0,713	0,179	0,210	0,062	0,609	0,149	0,121	0,104	0,476
Total P5CDF	0,165	0,131	0,127	0,380	0,125	0,134	0,052	0,346	0,091	0,063	0,086	0,216
Total H6CDF	0,159	0,142	0,127	0,410	0,104	0,101	0,070	0,271	0,080	0,050	0,068	0,186
Total H7CDF	0,102	0,077	0,097	0,240	0,085	0,068	0,077	0,217	0,065	0,036	0,060	0,123
OCDF	0,121	0,149	0,070	0,510	0,059	0,057	0,031	0,191	0,043	0,026	0,042	0,083
Total PCDF	**0,781**	**0,585**	**0,599**	**1,631**	**0,552**	**0,538**	**0,278**	**1,365**	**0,426**	**0,270**	**0,376**	**1,057**
PCDD + PCDF	**2,885**	**3,840**	**1,293**	**14,040**	**1,854**	**1,593**	**1,719**	**5,016**	**1,388**	**0,927**	**1,207**	**2,912**
FET (facteur équivalent)	**0,039**	**0,038**	**0,024**	**0,102**	**0,029**	**0,026**	**0,019**	**0,071**	**0,025**	**0,016**	**0,023**	**0,054**

Annexe 7a Synthèse des résultats des différents HAP mesurés dans l'air de Jonquière (n = 16) entre juillet 2000 et mars 2001 (ng/m^3)

	Fréquence de détection	Moyenne		Médiane	Minimum	Maximum
		arithmétique	géométrique			
Acénaphthylène	100,0	4,897	1,825	2,875	0,161	21,843
Acénaphthène	100,0	14,144	2,706	3,117	0,088	68,907
Fluorène	100,0	12,933	4,291	4,996	0,312	69,111
2-Me-Fluorène	100,0	2,166	0,758	0,685	0,061	12,531
Phénanthrène	100,0	103,228	28,027	30,390	2,242	649,965
Anthracène	100,0	9,577	2,140	2,598	0,120	60,605
Fluoranthène	100,0	83,428	24,938	23,701	2,292	604,983
Pyrène	100,0	60,715	15,269	14,284	0,773	467,743
Benzo(a)Fluorène	100,0	5,120	1,077	1,210	0,031	43,954
Benzo(b)Fluorène	100,0	2,758	0,474	0,581	0,011	26,645
1-Me-Pyrène	100,0	1,736	0,400	0,555	0,009	13,105
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	100,0	3,060	0,976	1,412	0,064	21,030
Benz(a)Anthracène	100,0	14,598	1,485	2,435	0,020	148,150
Chrysène	100,0	42,989	5,632	4,382	0,186	397,897
Triphénylène	100,0	9,288	1,923	1,222	0,098	78,291
7-Me-Benz(a)Anthracène	31,3	0,016	0,008	0,005	< l.d.	0,094
Benzo(b)Fluoranthène	100,0	61,246	7,678	5,680	0,179	514,584
Benzo(k)Fluoranthène	100,0	13,955	1,716	1,466	0,040	117,592
Benzo(e)Pyrene	100,0	30,012	3,495	2,668	0,077	253,674
Benzo(a)Pyrène	100,0	8,868	0,889	1,609	0,018	90,984
Pérylène	81,3	1,316	0,254	0,321	0,009	10,953
3-Me-Cholanthrène	0,0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	100,0	9,219	1,496	1,877	0,057	73,802
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracène	87,5	2,082	0,221	0,250	< l.d.	19,233
Benzo(b)Chrysène	62,5	0,637	0,077	0,101	< l.d.	5,365
Benzo(g,h,i)Pérylène	100,0	10,273	1,552	2,095	0,048	84,993
Anthanthrène	56,3	0,238	0,060	0,105	< l.d.	1,684
TOTAL HAP	100,0	508,290	121,119	113,905	8,772	3834,341

Annexe 7b Synthèse des résultats des différents HAP mesurés dans l'air de Chicoutimi (n = 12) entre juillet 2000 et mars 2001 (ng/m^3)

	Fréquence de détection	Moyenne		Médiane	Minimum	Maximum
		arithmétique	géométrique			
Acénaphthylène	100,0	6,033	2,084	3,141	0,182	23,078
Acénaphthène	100,0	13,240	2,995	4,089	0,040	48,000
Fluorène	100,0	9,495	4,865	5,611	0,312	26,000
2-Me-Fluorène	100,0	0,939	0,538	0,572	0,054	3,432
Phénanthrène	100,0	41,960	25,087	26,945	1,363	123,388
Anthracène	100,0	2,715	1,560	1,887	0,094	9,728
Fluoranthène	100,0	34,739	23,967	29,451	2,698	97,236
Pyrène	100,0	24,799	16,149	19,833	1,792	73,481
Benzo(a)Fluorène	100,0	2,022	1,129	1,972	0,137	7,104
Benzo(b)Fluorène	100,0	0,916	0,473	0,868	0,054	3,505
1-Me-Pyrène	100,0	0,654	0,372	0,547	0,087	2,481
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	100,0	1,597	1,026	1,356	0,190	4,184
Benz(a)Anthracène	100,0	5,730	2,470	4,286	0,145	20,567
Chrysène	100,0	3,625	2,112	3,004	0,250	12,689
Triphénylène	100,0	19,739	10,856	17,757	0,328	52,046
7-Me-Benz(a)Anthracène	11,1	0,009	0,006	0,006	< l.d.	0,044
Benzo(b)Fluoranthène	100,0	24,577	13,239	26,752	0,223	72,195
Benzo(k)Fluoranthène	100,0	7,540	3,625	6,589	0,053	22,000
Benzo(e)Pyrene	100,0	13,001	6,894	13,710	0,103	36,812
Benzo(a)Pyrène	100,0	4,357	1,730	3,179	0,019	15,210
Pérylène	83,3	0,446	0,162	0,362	< l.d.	1,550
3-Me-Cholanthrène	0,0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	100,0	4,180	2,364	3,840	0,074	11,468
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracène	83,3	0,923	0,379	0,835	< l.d.	2,672
Benzo(b)Chrysène	66,7	0,159	0,078	0,113	< l.d.	0,642
Benzo(g,h,i)Pérylène	100,0	4,672	2,718	4,427	0,120	13,807
Anthanthrène	75,0	0,193	0,091	0,150	< l.d.	0,700
TOTAL HAP	100,0	225,837	137,780	183,495	8,374	668,983

Annexe 7c Synthèse des résultats des différents HAP mesurés dans l'air de Montréal (Ontario et Amherst; n = 19) entre juillet 2000 et mars 2001 (ng/m^3)

	Fréquence de détection	Moyenne		Médiane	Minimum	Maximum
		arithmétique	géométrique			
Acénaphthylène	100,0	2,004	1,218	1,451	0,141	6,552
Acénaphthène	100,0	0,842	0,652	0,681	0,162	2,923
Fluorène	100,0	2,582	2,152	2,245	0,59	5,586
2-Me-Fluorène	100,0	0,912	0,758	0,706	0,235	2,334
Phénanthrène	100,0	9,543	8,223	7,827	3,66	23,218
Anthracène	100,0	0,670	0,549	0,556	0,204	1,881
Fluoranthène	100,0	2,963	2,593	2,499	1,212	7,085
Pyrène	100,0	2,090	1,805	1,778	0,786	5,698
Benzo(a)Fluorène	100,0	0,196	0,155	0,142	0,059	0,712
Benzo(b)Fluorène	100,0	0,093	0,074	0,074	0,024	0,302
1-Me-Pyrène	100,0	0,120	0,095	0,092	0,031	0,373
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	100,0	0,348	0,279	0,237	0,117	0,962
Benz(a)Anthracène	100,0	0,304	0,203	0,192	0,036	1,297
Chrysène	100,0	0,878	0,627	0,781	0,123	3,502
Triphénylène	100,0	0,260	0,188	0,199	0,048	1,093
7-Me-Benz(a)Anthracène	5,3	0,005	0,004	0,005	< l.d.	0,011
Benzo(b)Fluoranthène	100,0	1,422	0,944	1,133	0,175	6,362
Benzo(k)Fluoranthène	100,0	0,365	0,254	0,263	0,049	1,519
Benzo(e)Pyrene	100,0	0,762	0,497	0,513	0,093	3,520
Benzo(a)Pyrène	100,0	0,299	0,185	0,203	0,037	1,174
Pérylène	57,9	0,040	0,019	0,019	< l.d.	0,206
3-Me-Cholanthrène	0,0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	100,0	0,467	0,349	0,420	0,075	1,749
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracène	84,2	0,059	0,038	0,044	< l.d.	0,292
Benzo(b)Chrysène	42,1	0,017	0,012	0,011	< l.d.	0,071
Benzo(g,h,i)Pérylène	100,0	0,594	0,444	0,483	0,125	2,458
Anthanthrène	52,6	0,037	0,024	0,021	< l.d.	0,160
TOTAL HAP	100,0	27,890	23,905	22,169	9,112	73,774